

2014

全国注册电气工程师 执业资格考试辅导书

—— 重点难点解析与 典型例题精讲



蔡云鹏 编著

第2版

- ★ 精选试题，解析透彻
- ★ 权威辅导，重点突出
- ★ 一书在手，考试无忧



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

2014 全国注册电气工程师执业资格考试辅导书
——重点难点解析与典型例题精讲
(发输变电专业)

第 2 版

蔡云鹏 编著



机械工业出版社

本书按最新注册电气工程师执业资格考试（发输变电专业）要求的大纲和规程规范进行编写，全书分为15章，包括安全、环境保护与节能、消防，电气主接线，短路电流计算，设备选择，导体及电缆的设计选择，电气设备布置及配电装置设计，过电压保护和绝缘配合，接地，仪表和控制，继电保护、安全自动装置及调度自动化，直流系统，发电厂和变电所用电，照明，输电线路，电力系统规划设计。每章分三部分进行编写，第一部分为大纲要求，第二部分为高频考点提示，第三部分为例题精选，目的是让考生在最短的时间内掌握考试重点、难点和答题技巧，顺利通过考试。最后以参考文献的形式给出2014年考试大纲要求的规程规范和手册。

本书适合于参加2014年全国注册电气工程师发输变电专业考试的人员复习使用，也可作为高等院校电力及电气类相关专业的参考书，以及高等院校卓越工程师教育培养计划的教学辅导书，还可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

2014 全国注册电气工程师执业资格考试辅导书：重点难点解析与典型例题精讲. 发输变电专业/蔡云鹏编著. —2 版. —北京：机械工业出版社，2014.3

ISBN 978-7-111-45900-2

I. ①2… II. ①蔡… III. ①电气工程-工程师-资格考试-自学参考资料②发电-电力工程-工程师-资格考试-自学参考资料③输电-电力工程-工程师-资格考试-自学参考资料④变电所-电力工程-工程师-资格考试-自学参考资料 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 030241 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：张俊红 责任编辑：张俊红 版式设计：霍永明

责任校对：薛娜 封面设计：马精明 责任印制：李洋

三河市宏达印刷有限公司

2014 年 3 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·26.75 印张·663 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-45900-2

定价：79.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

国家对勘察设计行业的专业技术人员实行执业资格管理制度。全国注册电气工程师执业资格考试从2005年开考以来，至今已举行了9次考试，2007年对注册电气工程师专业考试大纲重新做了修订，增加了环境保护与节能方面的内容，2010年开始执行注册电气工程师执业资格注册。目前注册电气工程师已经成为电气勘察与设计从业人员的最重要考试之一，每年都有大量的从业人员参与考试。

为帮助广大考生顺利备考，我们从各种渠道收集了近年来发输变电专业考试中具有代表性的部分考试仿真题，并把它们汇编成为一本练习题集，这些练习题接近于真题，具有很强的针对性，对考生在较短时间内把握考试重点和难点能起到很大的作用。本书去年推出后受到了广大考生的欢迎，对广大考生提高考试成绩起到了积极的促进作用。根据读者反馈的信息我们决定今年再次出版。今年在去年的基础上做了以下改进：修订了2013年版书中的部分错误和不妥之处；新增了发输变电专业2013年部分考试题目和解答；增加了部分与发输变电专业考试内容重叠的供配电专业2013年考试题目及其解答；新增了考试规范重要性程度标识，对考试内容和注意事项进行了介绍，凡是能用新规范解答的老题目都尽量使用最新规范解答；对每一题的解答除给出依据和解答过程外，还尽量把依据的具体内容给出。这样使本书内容更加充实，解答更加详尽，更贴近于读者的需要。

本书按考试大纲的要求共分为15章，每章在体系上分三部分来编写：第一部分是按章给出考试大纲，考生可以通过这部分内容掌握考试大纲的要求；第二部分根据历年考试情况总结了本章题目的答题依据主要来自哪些规程规范和手册、本章重点考查哪些内容以及本章在整个考试中所占的分值等情况；第三部分是历年考试部分仿真题解答，对专业知识题目给出答案和依据，对专业案例题给出答案和详细的解答过程，部分题目还给出了分析，主要是分析该题目答题时的注意事项以及题目的陷阱。由于供配电专业考试的侧重点和发输变电专业不一样，本书还对近年来小部分供配电专业考试题目进行了选编，主要目的是拓宽考生的视野，提高考生的灵活应变能力。需要特别补充说明的是，对于在解题时直接引用的相关标准，为了尽量保持引文的原貌，以便考生能参考掌握，所以本书并未机械地统一编排格式，这点请广大考生引起注意。

本书主要由蔡云鹏编写。本书第1版受到了读者的普遍欢迎，本次编写过程中根据广大读者的意见和建议对部分内容进行了修订，使得本书内容更新颖更完善。参加本书部分内容编写和其他相关工作的还有蔡余华、秦绍正、余娜、秦定梅、王佳、王开照、蔡宝华、师涛、蔡子佳、张维、张闻等同志，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，不妥和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正并提出宝贵意见。

编 者

Contents 目录

前言

第一章 安全、环境保护与节能、消防	1
一、大纲要求	1
二、高频考点提示	1
三、例题精选	1
第二章 电气主接线	16
一、大纲要求	16
二、高频考点提示	16
三、例题精选	16
第三章 短路电流计算	35
一、大纲要求	35
二、高频考点提示	35
三、例题精选	35
第四章 设备选择	58
一、大纲要求	58
二、高频考点提示	58
三、例题精选	58
第五章 导体及电缆的设计选择	100
一、大纲要求	100
二、高频考点提示	100
三、例题精选	100
第六章 电气设备布置及配电装置设计	133
一、大纲要求	133
二、高频考点提示	133
三、例题精选	133
第七章 过电压保护和绝缘配合	161
一、大纲要求	161
二、高频考点提示	161
三、例题精选	161
第八章 接地	195
一、大纲要求	195
二、高频考点提示	195
三、例题精选	195
第九章 仪表和控制	225
一、大纲要求	225
二、高频考点提示	225

三、例题精选	225
第十章 继电保护、安全自动装置及调度自动化	235
一、大纲要求	235
二、高频考点提示	235
三、例题精选	235
第十一章 直流系统	252
一、大纲要求	252
二、高频考点提示	252
三、例题精选	252
第十二章 发电厂和变电所用电	291
一、大纲要求	291
二、高频考点提示	291
三、例题精选	291
第十三章 照明	317
一、大纲要求	317
二、高频考点提示	317
三、例题精选	317
第十四章 输电线路	324
一、大纲要求	324
二、高频考点提示	324
三、例题精选	324
第十五章 电力系统规划设计	389
一、大纲要求	389
二、高频考点提示	389
三、例题精选	389
附录	412
附录 A 注册电气工程师发输变电专业执业资格考试注意事项	412
附录 B 报考条件与基础免考条件	414
附录 C 规程规范重要性标识	415
参考文献	418

第一章 安全、环境保护与节能、消防

一、大纲要求 ★★★

1. 安全

- 1) 熟悉工程建设标准强制性条文（电力工程部分）；
- 2) 掌握电力工程电气保护的要求和主要防护措施；
- 3) 掌握危险环境电力装置的设计要求；
- 4) 了解劳动、安全、卫生的有关规定。

2. 环境保护与节能

- 1) 掌握电力工程对环境的影响及防治措施；
- 2) 熟悉电力工程的节能措施；
- 3) 掌握电力工程节能型产品的选用方法；
- 4) 熟悉提高电能质量的措施；
- 5) 了解清洁能源发电的特点。

3. 消防

- 1) 熟悉电气设备消防安全的要求和措施；
- 2) 掌握电缆防火的要求和措施；
- 3) 熟悉电力工程火灾报警系统的设计要求。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 30 分，基本都是在专业知识里考核。考点分散，考试题目有一定难度。答题依据主要有《工程建设标准强制性条文 电力工程部分》（2011 年版）、《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》（GB 50058—1992）、《火力发电厂与变电站设计防火规范》（GB 50229—2006）、《建筑设计防火规范》（GB 50016—2006）、《火灾自动报警系统设计规范》（GB 50116—1998）、《电力设备典型消防规程》（DL 5027—1993）以及其他规程规范里涉及电力设备消防和防火方面的内容。

1. 单项选择题

(1) 下列哪种旋转电动机的防爆结构不符合爆炸危险区域为 1 区的选型规定？（2012）

- (A) 正压型防爆结构适用于笼型感应电动机
- (B) 增安型防爆型适用于同步电动机
- (C) 正压型防爆结构直流电动机慎用
- (D) 隔爆型防爆结构绕线转子感应电动机慎用

答案：[B]

依据：《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》（GB 50058—1992）表 2.5.3-1。

表 2.5.3-1 旋转电机防爆结构选型

爆炸危险区域 防爆结构 电气设备	1 区			2 区			
	隔爆型 d	正压型 p	增安型 e	隔爆型 d	正压型 p	增安型 e	无火花型 n
鼠笼型感应电动机	○	○	△	○	○	○	○
绕线型感应电动机	△	△		○	○	○	×
同步电动机	○	○	×	○	○	○	
直流电动机	△	△		○	○		
电磁滑差离合器（无电刷）	○	△	×	○	○	○	△

注：① 表符号：○为使用；△为慎用；×为不适用（下同）。
② 绕线型感应电动机及同步电动机采用增安型时，其主体是增安防爆结构，发生电火花的部分是隔爆或正压型防爆结构。
③ 无火花型电动机在通风不良及户内具有比空气重的易燃物质区域内慎用。

分析：题干已经指明爆炸危险区域，答案出处应该是《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》（GB 50058—1992），以下简称《爆规》。

(2) 下列哪种电动机的防护结构不符合火灾危险区域为 21 区的使用条件？（2012）

- (A) 固定安装的电动机防护结构为 IP44 (B) 携带式电动机防护结构为 IP44
(C) 移动式电动机防护结构为 IP54 (D) 携带式电动机防护结构为 IP54

答案：[B]

依据：《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》（GB 50058—1992）第 4.3.4 条。

4.3.4 在火灾环境中，应根据区域等级和使用条件，按表 4.3.4 选择相应类型的电气设备。

表 4.3.4 电气设备防护结构的选型

火灾危险区域 防护结构 电气设备		21 区	22 区	23 区
电 机	固定安装	IP44	IP54	IP21
	移动式、携带式	IP54		IP54
电器和仪表	固定安装	充油型、IP54、IP44	IP54	IP44
	移动式、携带式	IP54		IP44
照明灯具	固定安装	IP2 X	IP5 X	IP2 X
	移动式、携带式	IP5 X		
配电装置				
接线盒				

注：① 在火灾危险环境 21 区内固定安装的正常运行时有滑环等火花部件的电机，不宜采用 IP44 机构。
② 在火灾危险环境 23 区内固定安装的正常运行时有滑环等火花部件的电机，不应采用 IP21 型结构，而应采用 IP44 型。
③ 在火灾危险环境 21 区固定安装的正常运行时有火花部件的电器和仪表，不宜采用 IP44 型。
④ 移动式 and 携带式照明灯具的玻璃罩，应有金属网保护。
⑤ 表中防护等级的标志应符合现行国家标准《外壳防护等级的分类》的规定。

► 分析：题目已经指明是火灾危险区域，应该查《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》。

(3) 下列哪一条不符合爆炸性气体环境中电气设备布置及选型要求？(2012)

- (A) 将正常运行时发生火花的电气设备布置在没有爆炸危险的环境内
- (B) 将正常运行时发生火花的电气设备布置在爆炸危险性较小的环境内
- (C) 在满足工艺生产及安全的前提下，应减少防爆电气设备的数量
- (D) 爆炸性气体环境中的电气设备必须采用携带式

► 答案：[D]

► 依据：《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—1992) 第 2.5.1 条。

第 2.5.1 条 爆炸性气体环境的电力设计应符合下列规定：

- 一、爆炸性气体环境的电力设计宜将正常运行时发生火花的电气设备，布置在爆炸危险性较小或没有危险的环境内。
- 二、在满足工艺生产及安全的前提下，应减少防爆电气设备的数量。
- 三、爆炸性气体环境内设置的防爆电气设备，必须是符合现行国家标准的产品。
- 四、不宜采用携带式电气设备。

► 分析：D 答案应该改为爆炸性气体环境中的电气设备不宜采用携带式。

(4) 在发电厂中当电缆采用架空敷设中，不需要设置阻火措施的地方是下列哪个部位？(2012)

- (A) 穿越汽机房、锅炉房和集中控制楼的隔墙处
- (B) 两台机组连接处
- (C) 厂区围墙处
- (D) 电缆桥架分支处

► 答案：[C]

► 依据：《火力发电厂与变电站设计防火规范》(GB 50229—2006) 第 6.7.4 条。

6.7.4 当电缆采用架空敷设时，应在下列部位设置阻火措施：

- 1 穿越汽机房、锅炉房和集中控制楼之间的隔墙处。
- 2 穿越汽机房、锅炉房和集中控制楼外墙处。
- 3 架空敷设每间距 100m 处。
- 4 两台机组连接处。
- 5 电缆桥架分支处。

► 分析：本题题眼在于发电厂和电缆，涉及的规范有《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) (以下简称《缆规》)、《火力发电厂设计技术规程》(DL 5000—2000)，以及《火力发电厂与变电站设计防火规范》(GB 50229—2006)，不易定位。

(5) 在水利水电工程的防静电设计中，下列哪项不符合规范要求？(2011)

- (A) 防静电接地装置应与工程中的电气接地装置共用

- (B) 防静电接地装置的接地电阻，不宜大于 50Ω
- (C) 油罐室、油处理设备、通风设备及风管均应接地
- (D) 移动式油处理设备在工作位置应设临时接地点

答案：[B]

依据：《水利水电工程劳动安全与工业卫生设计规范》（DL 5061—1996）第 4.1.9 条。

4.1.9 水利水电工程的防静电设计应符合下列要求：

- 1) 油罐室、油处理室的油罐、油处理设备、输油管和通风设备及风管均应接地；
- 2) 移动式油处理设备在工作位置均应设临时接地点；
- 3) 防静电装置的接地电阻，不宜大于 30Ω ；
- 4) 防静电接地装置应与工程中的电气装置共用。

由第 3) 款可知，B 答案不符合规范规定。

分析：本题题眼在水利水电工程和防静电设计两个关键词。

(6) 燃煤电厂的防火设计要考虑安全疏散，配电装置室内最远点到疏散出口的距离，下列哪一条满足规程要求？(2011)

- (A) 直线距离不应大于 7m
- (B) 直线距离不应大于 15m
- (C) 路径距离不应大于 7m
- (D) 路径距离不应大于 15m

答案：[B]

依据：《火力发电厂与变电站设计防火规范》（GB 50229—2006）第 5.2.6 条：配电装置室内最远点与疏散出口的直线距离不应大于 15m。

分析：连续几题答案都出自《火力发电厂与变电站设计防火规范》（GB 50229—2006），说明这个规范很重要。

(7) 变电站的绿化措施，下列哪项是错误的？(2011)

- (A) 城市地下变电站的顶部宜覆土进行绿化
- (B) 城市变电站的绿化应与所在街区的绿化相协调，满足美化市容要求
- (C) 进出线下的绿化应满足带电安全距离要求
- (D) 220kV 及以上变电站的绿化场地可敷设浇水的水管

答案：[D]

依据：《变电站总布置设计技术规程》（DL/T 5056—2007）第 9.2.4 条：“城市变电站的绿化应与所在街区的绿化相协调，满足美化市容要求，城市地下变电站的顶部宜覆土进行绿化”，故 A、B 答案正确；根据第 9.2.5 条：“主路口、站前区附近宜配置观赏性和美化效果好的常绿树种、花草，以美化站区环境。进出线下的绿化应满足带电安全距离要求”，故 C 答案正确；根据《变电所总布置设计技术规程》（DL/T 5056—1996）第 7.2.5 条：“330kV 及以上变电所的绿化场地可敷设浇水的水管”，故 D 答案错误。

分析：变电站绿化属于劳动安全和工业卫生设计范畴，本题题眼在于变电站和绿化措施，答题依据不易准确定位。

(8) 火电厂废水治理的措施，下列哪一项是错误的？(2011)

- (A) 酸、碱废水应经中和处理后复用或排放
- (B) 煤场排水和输煤设施的清扫水，应经沉淀处理，处理后的水宜复用
- (C) 含金属离子废水宜进入废水集中处理系统，处理后复用或排放
- (D) 位于城市的发电厂生活污水直接排入城市污水系统，水质不受限制

答案：[D]

依据：《火力发电厂设计技术规程》(DL 5000—2000) 第 18.3.1 条第 1 款：“酸、碱废水应经中和处理后复用或排放”，故 A 答案对；根据第 2 款：“煤场排水和输煤设施的清扫水，应经沉淀处理，处理后的水宜复用”，故 B 答案对；根据第 3 款：“含金属离子废水宜进入废水集中处理系统，处理后复用或排放”，故 C 答案对；根据第 7 款：“发电厂的生活污水，应处理达标后复用或排放，则必须符合 GB 8978《污水综合排放标准》。位于城市的生活污水，应优先考虑排入城市污水系统，其水质应符合 CJ18《污水排入城市下水道水质标准》”，故 D 答案错。

(9) 某公用电网 10kV 连接点处的最小短路容量为 200MVA，该连接点的全部用户向该点注入的 5 次谐波电流分量（方均根值）不应超过下列哪项？(2011)

- (A) 10A
- (B) 20A
- (C) 30A
- (D) 40A

答案：[D]

依据：《电能质量 公用电网谐波》(GB/T 14549—1993) 表 2 及附录 B：当电网公共连接点的最小短路容量不同于表 2 基准短路容量时，应按式修正表 2 中的谐波电流允许值：

$$I_h = \frac{S_{k1}}{S_{k2}} I_{hp} = \frac{200}{100} \times 20A = 40A$$

式中， S_{k1} 为公共连接点的最小短路容量，单位为 MVA； S_{k2} 为基准短路容量，单位为 MVA； I_{hp} 为表 2 中第 h 次谐波电流允许值，单位为 A。

表 2 注入公共连接点的谐波电流允许值

标准电压 kV	基准短路容量 MVA	谐波次数及谐波电流允许值, A											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	24	25
0.38	10	78	62	39	62	16	44	19	21	16	...	6.5	12
6	100	43	34	21	34	14	21	11	11	8.5	...	3.6	12
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	...	2.1	4.1
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	...	1.3	2.5
66	300	16	13	8.1	13	5.1	9.3	4.1	4.3	3.3	...	1.4	2.6
110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	3.0	3.2	2.4	...	1.0	1.9

注：220kV 基准短路容量取 2000MVA。

附录 B 谐波电流允许值的换算

当电网公共连接点的最小短路容量不同于表 2 基准短路容量时，按下式修正表 2 中谐波电流允许值：

$$I_h = \frac{S_{k1}}{S_{k2}} I_{hp} \tag{B1}$$

式中 S_{k1} ——公共连接点的最小短路容量，MVA；
 S_{k2} ——基准短路容量，MVA；
 I_{hp} ——表 2 中的第 h 次谐波电流允许值，A；
 I_h ——短路容量为时的第 h 次谐波电流的允许值。

分析：电能质量相关 4 个标准已经有 3 个是 2008 年版的，只有这个还是 1993 年版的。

(10) 下列关于变电站消防的设计原则，哪一条是错误的？(2011)

- (A) 变电站建筑物（丙类火灾危险性）体积为 $3001 \sim 5000\text{m}^3$ ，消防给水量为 10L/s
- (B) 一组消防水泵的吸水管设置两条
- (C) 吸水管上设检修用阀门
- (D) 应设置备用泵

答案：[A]

依据：《火力发电厂与变电站设计防火规范》（GB 50229—2006）第 11.5.3 条及表 11.5.3 可得，变电站建筑物（丙类火灾危险性）体积为 $3001 \sim 5000\text{m}^3$ ，消防给水量为 20L/s ，故 A 答案错误；根据第 11.5.11 条：“一组消防水泵的吸水管不应少于 2 条，当其中 1 条损坏时，其余的吸水管应能满足全部用水量。吸管上应装设检修用阀门”，故 B、C 答案正确；根据第 11.5.14 条：“消防水泵应设置备用泵，备用泵的流量和扬程不应小于最大 1 台消防泵的流量和扬程”，故 D 答案正确。

11.5.3 变电站建筑室外消防用水量不应小于表 11.5.3 的规定。

表 11.5.3 室外消防用水量 (L/s)						
建筑物耐火等级	建筑物火灾危险性类别	建筑物体积 (m^3)				
		≤ 1500	$1501 \sim 3000$	$3001 \sim 5000$	$5001 \sim 20000$	$20001 \sim 50000$
一、二级	丙类	10	15	20	25	30
	丁、戊类	10	10	10	15	15

注：当变压器采用水喷雾灭火系统时，变压器室外消防栓用水量不应小于 10L/s 。

分析：本题题眼在于变电站消防，自然想到《火力发电厂与变电站设计防火规范》（GB 50229—2006）。

(11) 火力发电厂与变电站的 500kV 屋外配电装置中，当动力电缆和控制电缆敷设在同一电缆沟内时，宜采用下列哪种方式进行分隔？(2011)

- (A) 宜采用防火堵料
- (B) 宜采用防火隔板
- (C) 宜采用防火涂料
- (D) 宜采用防火阻燃带

答案：[B]

依据：《火力发电厂与变电站设计防火规范》（GB 50229—2006）第 11.3.2 条：“ 220kV 及以上变电站，当电力电缆与控制电缆或通信电缆敷设在同一电缆沟或电缆隧道内时，宜采用防火槽盒或防火隔板进行分隔。”

分析：题目虽然提到火力发电厂和变电站、配电装置等字眼，但考查的仍然是防火的内容。

(12) 发电厂与变电站中， 110kV 屋外配电装置（无含油电气设备）的火灾危险性应为下列哪一类？(2011)

- (A) 乙类
- (B) 丙类
- (C) 丁类
- (D) 戊类

答案：[D]

依据：《火力发电厂与变电站设计防火规范》（GB 50229—2006）表 11.1.1 可得屋外配电装置无含油电气设备的火灾危险性分类为戊级。

表 11.1.1 建（构）筑物的火灾危险性分类及其耐火等级			
建（构）筑物名称		火灾危险性分类	耐火等级
主控通信楼		戊	二级
继电器室		戊	二级
电缆夹层		丙	二级
配电装置楼（室）	单台设备油量 60kg 以上	丙	二级
	单台设备油量 60kg 及以下	丁	二级
	无含油电气设备	戊	二级
屋外配电装置	单台设备油量 60kg 以上	丙	二级
	单台设备油量 60kg 及以下	丁	二级
	无含油电气设备	戊	二级
油浸变压器室		丙	一级
气体或干式变压器室		丁	二级
电容器室（有可燃介质）		丙	二级
干式电容器室		丁	二级
油浸电抗器室		丙	二级
干式铁芯电抗器室		丁	二级
总事故贮油池		丙	一级
生活、消防水泵房		戊	二级
雨淋阀室、泡沫设备室		戊	二级
污水、雨水泵房		戊	二级

注：主控通信楼当未采取防止电缆着火后延燃的措施时，火灾危险性为丙类。

(13) 某 220kV 屋外变电站的两台主变压器间不设防火墙，其挡油设施大于变压器外廓每边各 1m，则挡油设施的最小间距是下列哪一值？（2011）

- (A) 5m (B) 6m (C) 8m (D) 10m

答案：[C]

依据：《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）表 8.5.5 可得 220kV 及以上电压等级的配电装置中的屋外油浸变压器之间的最小距离为 10m，再减去挡油设施到变压器外廓的距离各 1m，可得挡油设施之间的最小间距为 8m。

表 8.5.5 屋外油浸变压器之间的最小间距		m
电压等级	最小间距	
35kV 及以下	5	
66kV	6	
110kV	8	
220kV 及以上	10	

分析：本题题眼是配电装置，考查的却是变压器防火方面的内容。

2. 多项选择题

(1) 下列哪些规定不符合爆炸气体环境 1 区内电缆配线的技术要求？（2012）

- (A) 铜芯电力电缆在沟内敷设时的最小截面 2.5mm^2
- (B) 铝芯电力电缆明敷设时的最小截面 2.5mm^2
- (C) 铜芯控制电缆在沟内敷设时的最小截面 1.5mm^2
- (D) 铜芯照明电缆在沟内敷设时的最小截面 2.5mm^2

答案：[B、C]

依据：《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》（GB 50058—1992）表 2.5.10。

表 2.5.10 爆炸性气体环境电缆配线技术要求					
技术要求 爆炸危险区域	电缆明设或沟内敷设时的最小截面			接线盒	移动 电缆
	电力	照明	控制		
1 区	铜芯 2.5mm^2 及以上	铜芯 2.5mm^2 及以上	铜芯 2.5mm^2 及以上	隔爆型	重型
2 区	铜芯 1.5mm^2 及以上,或铝芯 4mm^2 及以上	铜芯 1.5mm^2 及以上,或铝芯 2.5mm^2 及以上	铜芯 1.5mm^2 及以上	隔爆、增安型	中型

(2) 下列哪些区域为非爆炸危险区域？（2012）

- (A) 没有释放源并不可能有易燃物质侵入的区域
- (B) 在生产装置区外，露天设置的输送易燃物质的架空管道区域
- (C) 易燃物质可能出现的最高浓度不超过爆炸下限值的 10% 区域
- (D) 在生产装置区设置的带有阀门的输送易燃物质的架空管道区域

答案：[A、C]

依据：《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》（GB 50058—1992）第 2.2.2 条。

第 2.2.2 条 符合下列条件之一时，可划为非爆炸危险区域：

- 一、没有释放源并不可能有易燃物质侵入的区域；
- 二、易燃物质可能出现的最高浓度不超过爆炸下限值的 10%；
- 三、在生产过程中使用明火和设备附近，或炽热部件的表面温度超过区域内易燃物质引燃温度的设备附近；
- 四、在生产装置区外，露天或敞开设的输送易燃物质的架空管道地带，但其阀门处按具体情况定。

(3) 在发电厂中与电气专业有关的建（构）物其火灾危险性分类及其耐火等级决定了消防设计的装置，下列哪些建（构）物火灾危险性分类为丁类，耐火等级为二级？（2012）

- (A) 装有油浸式励磁变压器的 600MW 水氢氢机组的主厂房汽机房

- (B) 封闭式运煤栈桥
- (C) 主厂房煤仓间
- (D) 电气继电保护试验室

答案：[A、C、D]

依据：《火力发电厂与变电站设计防火规范》（GB 50229—2006）表 3.0.1。

表 3.0.1 建（构）筑物的火灾危险性分类及其耐火等级

建（构）筑物名称	火灾危险性分类	耐火等级
主厂房(汽机房、除氧间、集中控制楼、煤仓间、锅炉房)	丁	二级
吸风机室	丁	二级
除尘构筑物	丁	二级
烟囱	丁	二级
脱硫工艺楼	戊	二级
脱硫控制楼	丁	二级
吸收塔	戊	二级
增压风机室	戊	二级
屋内卸煤装置	丙	二级
碎煤机室、转运站及配煤楼	丙	二级
封闭式运煤栈桥、运煤隧道	丙	二级
筒仓、干燥棚、解冻室、室内贮煤场	丙	二级
供、卸油泵房及栈台(煤油、重油、继电器室)	丙	二级
油处理室	丙	二级
主控楼、网络控制室、微波楼、继电器室	丁	二级
屋内配电装置楼(内有每台含油量>60kg的设备)	丙	二级
屋内配电装置楼(内有每台含油量≤60kg的设备)	丁	二级
屋外配电装置(内有含油电气设备)	丙	二级
油浸变压器室	丙	一级
岸边水泵房、中央水泵房	戊	二级
灰浆、灰渣泵房	戊	二级
生活、消防水泵房,综合水泵房	戊	二级
稳定剂室,加药设备室	戊	二级
进水建筑物	戊	二级
冷却塔	戊	三级
化学水处理室,循环水处理室	戊	二级
供氢站	甲	二级
启动锅炉房	丁	二级
空气压缩机室(无润滑油或不喷油螺杆式)	戊	二级
空气压缩机室(有润滑油)	丁	二级
热工、电气、金属实验室	丁	二级
天桥	戊	二级
天桥(下面设置电缆夹层时)	丙	二级
变压器检修间	丙	二级
雨水、污(废)水泵房	戊	二级
检修车间	戊	二级
污水处理构筑物	戊	二级
给水处理构筑物	戊	二级
电缆隧道	丙	二级
柴油发电机房	丙	二级
特种材料库	乙	二级
一般材料库	戊	二级
材料棚库	戊	二级
机车库	丁	二级
推煤机库	丁	二级
消防车库	丁	二级

注：1. 除本表规定的建（构）筑物外，其他建（构）筑物的火灾危险性及耐火等级应符合国家现行的有关标准的规定。

2. 主控控制楼、网络控制楼、微波楼、天桥、继电器室，当未采取防止电缆着火后延燃的措施时，火灾危险性应为丙类。

(4) 对于燃煤发电厂应设室内消火栓的建筑物是 ()。(2011)

- (A) 集中控制楼、继电器室 (B) 主厂房
(C) 脱硫工艺楼 (D) 汽车库

 **答案:** [A、B、D]

 **依据:**《火力发电厂与变电站设计防火规范》(GB 50229—2006) 第 7.3.1 条。

7.3.1 下列建筑物或场所应设置室内消火栓:

- 1 主厂房 (包括汽机房和锅炉房的底层、运转层; 煤仓间各层; 除氧器层; 锅炉燃烧器各层平台)。
- 2 集中控制楼, 主控制楼, 网络控制楼, 微波楼, 继电器室, 屋内高压配电装置 (有充油设备), 脱硫控制楼;
- 3 屋内卸煤装置, 碎煤机室, 转运站, 筒仓皮带层, 室内贮煤场。
- 4 解冻室, 柴油发电机房。
- 5 生产、行政办公楼, 一般材料库, 特殊材料库。
- 6 汽车库。

(5) 在火力发电厂与变电站的电缆隧道或电缆沟中, 下列哪些部位应设防火墙?(2011)

- (A) 厂区围墙处
(B) 单机容量为 100MW 及以上发电厂, 对应于厂用母线分段处
(C) 两台机组连接处
(D) 电缆沟内每间距 50m 处

 **答案:** [A、B]

 **依据:** 依据 1:《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 第 7.0.2 条第 2 款。

7.0.2-2 在隧道或重要回路的电缆沟中的下列部位, 宜设置阻防火墙 (防火墙):

- 1) 公用主沟道的分支处。
- 2) 多段配电装置对应的沟道适当分段处。
- 3) 长距离沟道中相隔约 200m 或通风区段处。
- 4) 至控制室或配电装置的沟道入口、厂区围墙处。

依据 2:《火力发电厂与变电站设计防火规范》(GB 50229—2006) 第 6.7.3 条。

6.7.3 在电缆竖井中, 每间隔约 7m 宜设置防火封堵。在电缆隧道或电缆沟中的下列部位, 应设置防火墙:

- 1) 单机容量为 100MW 及以上的发电厂, 对应于厂用母线分段处。
- 2) 单机容量为 100MW 以下的发电厂, 对应于全厂一半容量的厂用配电装置划分处。
- 3) 公用主隧道或沟内引接的分支出。
- 4) 电缆沟内每间隔 100m 处。
- 5) 通向建筑物的入口处。
- 6) 厂区围墙处。

分析：有时候一个题的答案可能来自不同的规程、规范。

(6) 发电厂中，油浸变压器外轮廓与汽机房的间距，下列哪几条是满足要求的？(2011)

- (A) 2m (变压器外轮廓投影范围外侧各 2m 内的汽机房外墙上无门、窗和通风孔)
- (B) 4m (变压器外轮廓投影范围外侧各 3m 内的汽机房外墙上无门、窗和通风孔)
- (C) 6m (变压器外轮廓投影范围外侧各 5m 内的汽机房外墙上设有甲级防火门)
- (D) 10m

答案：[B、C、D]

依据：《火力发电厂与变电站设计防火规范》(GB 50229—2006) 第 4.0.8 条、5.3.8 条。

4.0.8 油浸变压器与汽机房、屋内配电装置楼、主控楼、集中控制楼及网控楼的间距不应小于 10m；当符合本规范第 5.3.8 条的规定时，其间距可适当减少。

5.3.8 当汽机房侧墙外 5m 以内布置有变压器时，在变压器外轮廓投影范围外侧各 3m 内的汽机房外墙上不应设置门、窗和通风孔；当汽机房侧墙外 5~10m 范围内布置有变压器时，在上述外墙上可设置甲级防火墙。变压器高度以上可设防火窗，其耐火极限不应小于 0.90h。

(7) 下列哪几项是火电厂防止大气污染的措施？(2011)

- (A) 采用高效除尘器
- (B) 采用脱硫技术
- (C) 对于 300MW 及以上机组，锅炉采用低氮氧化物燃烧技术
- (D) 闭式循环水系统

答案：[A、B、C]

依据：根据《火力发电厂设计技术规程》(DL 5000—2000) 第 18.2.2 条，A 答案对；根据第 18.2.3 条，B 答案对；根据第 18.2.5 条，C 答案对。

18.2.2 按 GB 13223《火电厂大气污染物排放标准》对 50MW 及以上机组允许烟尘排放浓度计算所需除尘器效率，计算结果是在本规程使用范围内的电厂均需要采用电除尘器，或采用其他类型的、成熟的高效除尘器。

增加了对启动锅炉除尘烟尘排放应执行 GB 13271《锅炉大气污染物排放标准》的要求。

18.2.3 根据国函[1998]5号《国务院关于酸雨控制区和二氧化硫污染控制区有关问题的批复》进行分类控制，二氧化硫排放同时满足排放标准、环境质量和总量控制要求，酸雨控制区和二氧化硫污染控制区内的电厂还需要满足排放浓度标准。

若不能满足本规定要求，则应装设脱硫装置。

18.2.5 由于氮氧化物的生成量与煤的含氮量、锅炉炉膛内分级燃烧的温度、氧气浓度和燃烧气体在高温区停留的时间等有关，因此不同煤种、不同炉型的低氮氧化物燃烧技术和装置不同。目前国产和进口的 300MW 及以上机组都具有成熟的低氮氧化物燃烧技术和设备。按照 GB 13223《火电厂大气污染物排放标准》的规定，要求 300MW 以上机组均应采用低氮氧化物燃烧技术及装置，且必须使氮氧化物排放达到标准要求。

(8) 采取以下哪几项措施可降低发电厂的噪声影响？(2011)

- (A) 总平面布置优化
- (B) 建筑物的隔声、消声、吸声
- (C) 在厂界设声障屏
- (D) 改变监测点

▶ 答案：[A、B、C]

▶ 依据：《火力发电厂设计技术规程》(DL 5000—2000) 第 18.5.3 条及条文说明可知应对发电厂的总平面布置、建筑物和绿化的隔声、消声、吸声等作用进行优化，以降低发电厂的噪声影响。

(9) 在变电站的设计和规划时，必须同时满足下列哪几项条件才可不设消防给水？(2011)

- (A) 变电站内建筑物满足耐火等级不低于二级
- (B) 建筑物体积不超过 3000mm^3
- (C) 火灾危险性为戊类
- (D) 控制室内装修采用了不燃材料

▶ 答案：[A、B、C]

▶ 依据：《火力发电厂与变电站设计防火规范》(GB 50229—2006) 第 11.5.1 条：“变电站的规划和设计，应同时设计消防给水系统。消防水源应有可靠的保证。变电站内建筑物满足耐火等级不低于二级，体积不超过 3000m^3 ，且火灾危险性为戊类时，可不设消防给水。”

(10) 110kV 变电所中，下列哪些场所应采取防止电缆火灾蔓延的措施？(2011)

- (A) 电缆从室外进入室内的入口处
- (B) 电缆竖井的出入口
- (C) 电缆接头处
- (D) 电缆沟与其他管线的垂直交叉处

▶ 答案：[A、B、C]

▶ 依据：《火力发电厂与变电站设计防火规范》(GB 50229—2006) 第 11.3.1 条：“电缆从室外进入室内的入口处、电缆竖井的出入口处、电缆接头处、主控制室与电缆夹层之间以及长度超过 100m 的电缆沟或电缆隧道，均应采取防止电缆火灾蔓延的阻燃或分隔措施。”

(11) 火力发电厂与变电所中，电缆夹层的灭火介质应采用下列哪几种？(2011)

- (A) 水喷雾
- (B) 细水雾
- (C) 气体
- (D) 泡沫

▶ 答案：[A、B、C]

▶ 依据：《火力发电厂与变电站设计防火规范》(GB 50229—2006) 表 7.1.8。

(12) 火力发电厂和变电站中，继电器室的火灾探测器可采用下列哪些类型？(2011)

- (A) 火焰探测型
- (B) 吸气式感烟型

(C) 点型感烟型 (D) 缆式线型感温型

答案：[B、C]

依据：《火力发电厂与变电站设计防火规范》（GB 50229—2006）表 7.1.8。

表 7.1.8 主要建（构）筑物和设备火灾自动报警系统和固定灭火系统（节选）

建（构）筑物和设备	火灾探测器类型	灭火介质及系统形式
.....		
5. 继电器室	吸气式感烟或点型感烟和点型感烟组合	固定式气体或其他介质
.....		

3. 案例题

某 110/35kV 区域变电站，向附近的轧钢厂、钢绳厂及水泵厂等用户供电，供电方案如图 1-1 所示。

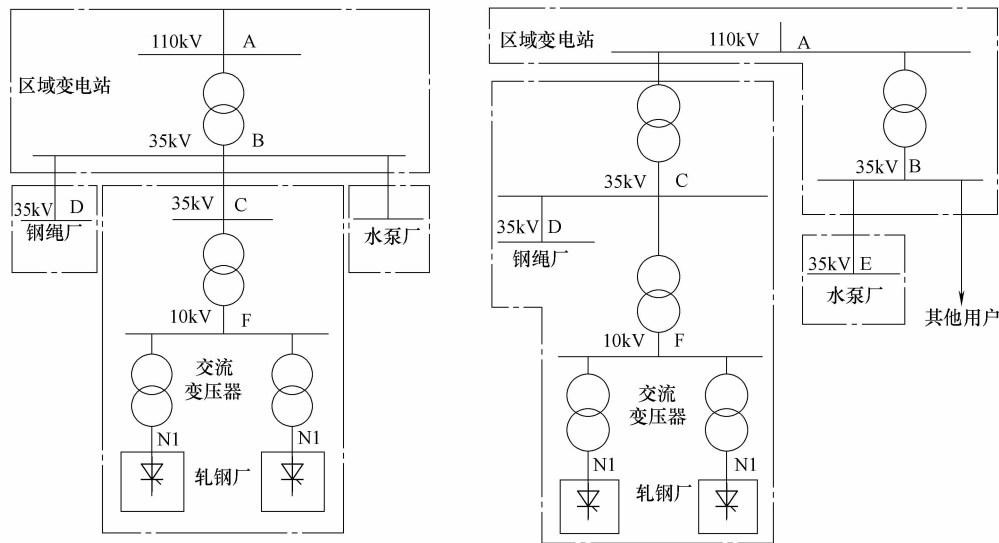


图 1-1 供电方案

区域变电站 110kV 侧最小短路容量为 1500MVA，35kV 母线侧最小短路容量为 500MVA，35kV 母线的供电设备容量为 25000kVA，轧钢厂用电协议容量为 15000kVA。

方案 1：区域变电站以 35kV 分别向轧钢厂、钢绳厂及水泵厂等用户供电。轧钢厂设 35/10kV 专用变电站，以 10kV 向整流变压器供电。

轧钢厂共设有两台 4500kVA 整流变压器，各供一套 6 脉动三相桥式整流装置，每台整流变压器 10kV 侧基波电流 $I_1=225\text{A}$ ，7 次谐波电流的有效值按工程设计法计算。

方案 2：由于轧钢厂及钢绳厂合并为轧钢钢绳厂，并拟自建 110/35kV 专用降压变电站，改为 110kV 由区域变电站受电，轧钢厂整流变压器运行情况同上。

假定不考虑轧钢厂其他谐波源，不考虑除 7 次谐波以外次数谐波，也无其他会放大谐波电流的容性负荷，请分别回答下列问题：（供配电 2008）

(1) 解释说明方案 1 中的电网谐波公共连接点应为下列哪项？

- (A) 轧钢厂总变电站 35kV 母线 C 点
- (B) 轧钢厂总变电站 10kV 母线 F 点
- (C) 区域变电站 35kV 母线 B 点
- (D) 区域变电站 110kV 母线 A 点

答案：[C]

依据：《电能质量 公用电网谐波》（GB/T 14549—1993）第 3.1 条：公共连接点 point of common coupling 用户接入公用电网的连接处。

分析：公共连接点指的是用户接入电网的公用连接点处。

(2) 解释说明方案 2 中的电网谐波公共连接点应为下列哪项？

- (A) 轧钢厂总变电站 35kV 母线 C 点
- (B) 轧钢厂总变电站 10kV 母线 F 点
- (C) 区域变电站 35kV 母线 B 点
- (D) 区域变电站 110kV 母线 A 点

答案：[D]

依据：同上题。

(3) 计算方案 2 中全部用户注入公共连接点的 7 次谐波电流允许值应为下列哪项数值？

- (A) 13.6A
- (B) 6.8A
- (C) 4.53A
- (D) 17.6A

答案：[A]

依据：《电能质量 公用电网谐波》（GB/T 14549—1993）表 2 及式 B1 有

$$I_7 = \frac{S_{k1}}{S_{k2}} \times I_{7p} = \frac{1500}{750} \times 6.8A = 13.6A$$

式中， S_{k1} 为区域变电站 110kV 侧最小短路容量，由题目可知为 1500MVA； S_{k2} 为基准短路容量，查表 2 为 750MVA。

表 2 注入公共连接点的谐波电流允许值

标准电压 kV	基准短路容量 MVA	谐波次数及谐波电流允许值, A											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	24	25
0.38	10	78	62	39	62	16	44	19	21	16	...	6.5	12
6	100	43	34	21	34	14	21	11	11	8.5	...	3.6	12
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	...	2.1	4.1
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	...	1.3	2.5
66	300	16	13	8.1	13	5.1	9.3	4.1	4.3	3.3	...	1.4	2.6
110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	3.0	3.2	2.4	...	1.0	1.9

附：220kV 基准短路容量取 2000MVA。

(4) 在方案 1 中，假定 35kV 侧公共连接点允许注入的 7 次谐波电流值为 17.6A，请计算出轧钢厂允许注入公共连接点的 7 次谐波电流应为下列哪项数值？

- (A) 13.63A (B) 12.2A (C) 10.6A (D) 13.0A

▶ 答案：[B]

▶ 依据：已知 35kV 母线的供电设备容量为 25000kVA，轧钢厂用电协议容量为 15000kVA，由《电能质量 公用电网谐波》（GB/T 14549—1993）式 C6 有

$$I_{hi} = I_h (S_i/S_t)^{\frac{1}{a}} = 17.6 \times \left(\frac{15000}{25000}\right)^{\frac{1}{1.4}} A = 12.22 A$$

式中，*a* 为谐波的相位叠加系统，可由表 C2 查得。

表 C2						
<i>h</i>	3	5	7	11	13	9 >13 偶次
<i>a</i>	1.1	1.2	1.4	1.8	9	2

第二章 电气主接线

一、大纲要求 ★★★

- 1) 掌握电气主接线设计的基本要求（含接入系统设计要求）；
- 2) 掌握各级电压配电装置的基本接线设计；
- 3) 熟悉各种电气主接线型式设计；
- 4) 掌握主接线设计中的设备配置；
- 5) 了解发电机及变压器中性点的接地方式。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 20 分，其中专业知识占 10 分左右，案例占 10 分左右。考点相对集中，考试题目有一定灵活性，需要对主接线相关内容熟练掌握才能做好这部分的题目。答题依据主要有《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第二章、《35kV ~ 110kV 变电站设计规范》（GB 50059—2011）、《大中型火力发电厂设计规范》（GB 50660—2011）、《水力发电厂机电设计规范》（DL/T 5186—2004）、《220kV ~ 500kV 变电站设计技术规程》（DL/T 5218—2012）、《35kV ~ 110kV 无人值班变电站设计规程》（DL/T 5103—2012）等。本章重点考查各种电气主接线的适用范围和断路器、隔离开关的配置等内容。（注：《火力发电厂设计技术规程》（DL 5000—2000）2013 年并没有列入考试大纲的内容，但这个规范仍是现行规范，没有废止。）

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

(1) 水电厂 110 ~ 220kV 配电装置使用气体绝缘金属封闭开关设备（简称 GIS）时，采用下列哪种接线是错误的？（2012）

- (A) 桥形接线 (B) 双桥形接线
(C) 单母线接线 (D) 出线回路较多的大型水电厂可采用单母线分段带旁路接线

答案：[D]

依据：《水力发电厂机电设计规范》（DL/T 5186—2004）第 5.2.5 条第二款中第二点：“气体绝缘金属封闭开关设备（简称 GIS）配电装置可采用桥形、双桥形、单母线或单母线分段接线；出线回路较多的大型水电厂也可采用双母线接线。GIS 配电装置不设置旁路母线。”

分析：关于水电厂电气主接线方面的内容在规程规范里规定得不多，这个规范对各

种电压等级的水电厂的电气主接线列得比较详细。

(2) 直接接地电力系统中的自耦变压器，其中性点应如何接地？(2011)

- (A) 不接地 (B) 直接接地
(C) 经避雷器接地 (D) 经放电间隙接地

▶ 答案：[B]

▶ 依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第2.7节第二小节第1条第(1)款：“凡是自耦变压器，其中性点须要直接接地或经小阻抗接地。”

(3) 对内桥与外桥接线（双回变压器进线与双回线路出线），下列表述哪项是错误的？(2013)

- (A) 采用桥形接线优点是所需断路器少，四回进出线只需要三台断路器
(B) 采用外桥接线时，变压器的投切较复杂
(C) 当出线线路较长，故障率高时，宜采用外桥接线
(D) 桥形接线为避免进或出线断路器检修时，变压器或线路较长时间停电，可以加装跨条

▶ 答案：[C]

▶ 依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》P50 相关内容。

(一) 内桥形接线

(1) 优点：高压断路器数量少，四个回路只需三台断路器。

(2) 缺点：

1) 线路的切除和较投入复杂，需动作两台断路器，并有一台变压器暂时停运。

2) 桥连断路器检修时，两个回路需解列运行。

3) 变压器侧断路器检修时，变压器需较长时间停运。为避免此缺点，可加装正常断开运行的跨条，为了轮流停电检修任何一组隔离开关，在跨条上须加装两组隔离开关。桥连断路器检修时，也可利用此跨条。

(3) 适用范围：适用于较小容量的发电厂、变电所，并且变压器不经常切换或线路较长、故障率较高的情况。

(二) 外桥形接线

(1) 优点：同内桥形接线。

(2) 缺点：

1) 变压器的切除和投入复杂，需动作两台断路器，影响一回线路的暂时停运。

2) 桥连断路器检修时，两个回路需解列运行。

3) 出线断路器检修时，线路需较长时间停运。为避免此缺点，可加装正常断开运行的跨条，为了轮流停电检修任何一组隔离开关，在跨条上须加装两组隔离开关。桥连断路器检修时，也可利用此跨条。

(3) 适用范围：适用于较小容量的发电厂变电所，并且变压器的切换较频繁或线路较短，故障率较少的情况。此外，线路有穿越功率时，也宜采用外桥形接线。

(4) 某电厂 100MW 机组采用发电机-变压器单元接线接入 220kV 系统，发电机出口电压为 10.5kV，接地故障电容电流为 1.5A，由于系统薄弱，若要求发电机内部发生单相接地故障时不立即停机，发电机中性点应采用下列哪种接地方式？（2013）

- (A) 不接地 (B) 高电阻接地 (C) 经消弧线圈接地 (D) 低电阻接地

答案：[A]

依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》P70 表 2-6，可得发电机出口电压为 10.5kV，接地电流允许值为 3A，本题的接地故障电容电流为 1.5A，小于允许值，故采用不接地方式，并不需要经高阻抗接地或消弧线圈接地。

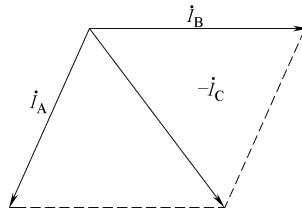
分析：本题也可根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 3.1.3 条作答。

(5) 接地点通过的电流为电容性的，其大小为原来每相对地电容电流的多少倍？

- (A) 3 倍 (B) $\sqrt{3}$ 倍 (C) 2 倍 (D) 1 倍

答案：[A]

依据：发生单相接地故障后故障相电压为零，非故障的两相相电压升高为原相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，其容性电流也升高为原每相的 $\sqrt{3}$ 倍，非故障两相的电容性电流将流到故障相上去。例如假设是 C 相单相接地，则发生接地故障后容性电流的流向示意图如右图所示，图中的“ $-i_c$ ”表示 C 相的电容性电流与正常运行状态的流向相反。



2. 多项选择题

(1) 对水电厂来说，下列哪几种说法是正确的？（2012）

- (A) 水电厂与电力系统连接的输电电压等级，宜采用一级，不应超过两级
(B) 蓄能电厂与电力系统连接的输电电压等级，应采用一级
(C) 水电厂在满足输送水电厂装机容量的前提下，宜在水电厂设置电力系统的枢纽变电所
(D) 经论证合理时，可在梯级的中心水电厂设置联合开关站（变电站）

答案：[A、B、D]

依据：《水力发电厂机电设计规范》（DL/T 5186—2004）第 5.1.2 条：“水电厂与电力系统连接的输电电压等级，应采用一级电压，不应超过两级，……，不宜在水电厂设置电力系统的枢纽变电所”，故 A 答案对，C 答案错；第 5.1.3 条：“蓄能电厂与电力系统连接的输电电压等级，应采用一级电压，并以尽量少的出线回路数直接接入系统的枢纽变电所”，故 B 答案对；第 5.1.4 条：“经论证合理时，可在梯级的中心水电厂或合适的地点设置联合开关站（变电站），再接入电力系统”，故 D 答案对。

(2) 下面所列四种情况，其中哪几种情况宜采用内桥形接线？（2012）

- (A) 变压器的切换较频繁 (B) 线路较长, 故障率高
(C) 二线路间有穿越功率 (D) 变压器故障率较低

► 答案: [B、D]

► 依据:《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 51 页。内桥接线适用于较小容量的发电厂、变电所, 并且变压器不经常切换或线路较长、故障率较高情况。当线路有穿越功率时, 宜采用外桥接线。

► 分析: 各种接线形式的优缺点和使用范围在《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第二章里有详细的规定, 内桥接线和外桥接线方面的内容经常考。

(3) 对水电厂 110 ~ 220kV 配电装置来说, 敞开式配电装置进出线回路数不大于 6 回, 可采用下列哪些接线方式? (2012)

- (A) 桥形接线 (B) 角形接线
(C) 单母线接线 (D) 双母线接线

► 答案: [A、B、C]

► 依据:《水力发电厂机电设计规范》(DL/T 5186—2004) 第 5.2.5 条第 2 款第 1) 点。

5.2.5 根据水电厂的运行特点, 高压配电装置一般采用下列接线:

1 35kV ~ 60kV 配电装置。可采用桥形或双桥形接线、单母线或单母线分段接线。

2 110kV ~ 220kV 配电装置。

1) 敞开式配电装置进出线回路不多时, 可采用桥形接线、角形接线、单母线接线、单母线分段接线或均衡接线等。220kV 进出线达 6 回以上、110kV 进出线达 8 回及以上时, 可采用双母线接线; 若该配电装置的断路器无停电检修的条件, 可采用带旁路母线接线。当 220kV 出线在 5 回以上, 110kV 进出线在 7 回以上宜采用带专用断路器的旁路母线。当 220kV 进出线达 12 回以上时, 也可以采用 3/2 断路器接线或 4/3 断路器接线。

2) 气体绝缘金属封闭开关设备 (简称 GIS) 配电装置可采用桥形、双桥形、单母线或单母线分段接线; 出线回路较多的大型水电厂也可采用双母线接线。GIS 配电装置不设置旁路母线。

(4) 某沿海电厂规划安装 4 × 300MW 供热机组, 以 220kV 电压等级接入电网, 选择该厂送出线路需要考虑的因素为 ()。(2012)

- (A) 按经济电流密度选择导线截面的输送容量
(B) 按电压损失校验导线截面
(C) 当一回线路故障检修停运时, 其他线路不应超过导线按容许发热条件的持续输送容量
(D) 当一回送出线路发生三相短路不重合时电网应保持稳定

► 答案: [A、C、D]

► 依据: 1)《电力系统设计手册》第 179 页有关内容可知架空送电线路导线截面一般

按经济电流密度来选择，并根据电晕、机械强度一级事故情况下发热条件进行校验，因此答案 A 正确。

2) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 333 页关于导体截面的选择和校验中提到裸导线应根据具体情况，按下列技术分别进行选择或校验，可知答案 B 错误。

- (1) 工作电流
- (2) 经济电流密度
- (3) 电晕
- (4) 动稳定或机械强度
- (5) 热稳定

3) 《电力系统安全稳定导则》(DL/T 755—2001) 附录 A3 关于 N-1 原则规定中提到：“正常运行方式下的电力系统中任一元件（如线路、发电机、变压器等）无故障或因故障断开，电力系统应能保持稳定运行和正常供电，其他元件不过负荷，电压和频率均在允许范围内。这通常称为 N-1 原则。当发电厂仅有一回送出线路时，送出线路故障可能导致失去一台以上发电机组，此种情况也按 N-1 原则考虑”。因此答案 C 正确。

4) 《电力系统安全稳定导则》(DL/T 755—2001) 第 3.2.1 条：“正常运行方式下的电力系统受到下述单一元件故障扰动后，保护、开关及重合闸正确动作，不采取稳定控制措施，必须保持电力系统稳定运行和电网的正常供电，其他元件不超过规定的事事故过负荷能力，不发生连锁跳闸。但对于发电厂的交流送出线路三相故障，发电厂的直流送出线路单极故障，两级电压的电磁环网中单回高一级电压线路故障或无故障断开，必要时可采用切机或快速降低发电机组出力的措施。”因此答案 D 正确。

(5) 电力工程电气主接线设计的基本要求是下列哪几项？(2011)

- (A) 经济性
- (B) 可靠性
- (C) 选择性
- (D) 灵活性

▶ 答案：[A、B、D]

▶ 依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 2.1 节主接线的设计原则可知主接线应满足可靠性、灵活性和经济性三项基本原则。

(6) 某 330/110kV 降压变电所中的 330kV 配电装置采用一个半断路器接线。关于该接线方式下列哪些配置原则是正确的？(2011)

- (A) 主变回路宜与负荷回路配成串
- (B) 同名回路配置在不同串内
- (C) 初期线路和变压器为两个完整串时，同名回路宜分别接入不同侧的母线，且进出线不宜装设隔离开关
- (D) 第三台主变可不进串，直接经断路器接母线

▶ 答案：[A、B、D]

▶ 依据：《220kV ~ 500kV 变电所设计技术规程》(DL/T 5218—2005) 第 7.1.2 条：

“当采用一个半断路器接线时，宜将电源回路与负荷回路配对成串，同名回路配置在不同串内，同名回路可接于同一侧母线。当变压器台数超过两台时，其他几台变压器可不进串，直接经断路器接母线”，由此可知 A、B、D 答案正确。根据第 7.1.6 条：“在一个半断路器接线中，初期线路和变压器为两完整串时出口处应装设隔离开关”，由此可知 C 答案错误。

(7) 某电厂装有 $2 \times 600\text{MW}$ 机组，经主变压器升压至 330kV ， 330kV 出线 4 回，主接线有如下的设计内容，请判断哪些设计是满足设计规范要求的？(2013)

- (A) 330kV 配电装置采用 $3/2$ 断路器接线
- (B) 进、出线回路均未装设隔离开关
- (C) 主变压器高压侧中性点经小电抗器接地
- (D) 线路并联电抗器回路装有断路器

► 答案：[C、D]

► 依据：《大中型火力发电厂设计规范》(GB 50660—2011) 第 16.2.1 条、16.2.9 条及 16.2.16 条。

16.2.1 $330\text{kV} \sim 500\text{kV}$ 配电装置的接线应满足系统稳定性和可靠性以及限制短路容量的要求，并应满足电厂运行的灵活性和建设的经济性要求，同时应符合下列规定：

1 当进出线回路数为 6 回及以上，配电装置在系统中具有重要地位时，宜采用 $3/2$ 断路器接线。

2 当电厂装机台数较多，但出线回路数较少时，可采用 $4/3$ 断路器接线。

3 进出线回路数少于 6 回，且电网根据远景发展有特殊要求时，可采用双母线接线，远期可过渡到双母线分段接线。

4 初期进出线回路数为 4 回时，可采用四角形接线，进、出线应装设隔离开关。布置上宜按过渡到远期 $3/2$ 断路器接线设计。

5 在 $3/2$ 断路器接线中，电源线宜与负荷线配对成串，同名回路宜配置在不同串内。初期仅两串时同名回路宜分别接入不同侧的母线，进出线应装设隔离开关。当 $3/2$ 断路器接线达三串及以上时，同名回路可接于同一侧母线，进、出线可不装设隔离开关。

16.2.9 发电机（升压）主变压器中性点接地方式应根据所处电网的中性点接地方式及系统继电保护的要求确定。在 $110\text{kV} \sim 750\text{kV}$ 有效接地系统中， 110kV 及 220kV 系统中主变压器中性点可采用直接或经接地电抗器接地方式； $330\text{kV} \sim 750\text{kV}$ 系统中主变压器中性点可采用直接接地或经小电抗器接地方式。

16.2.16 330kV 及以上电压等级的线路并联电抗器回路不宜装设断路器。 330kV 及以上电压等级的母线并联电抗器回路应装设断路器和隔离开关。

► 分析：本题题干不全，由于不知道主接线的设计内容，只能按满足规范要求的答案来选择。

3. 案例题

题 1: 某一般性质的 220kV 变电站，电压等级为 220/110/10kV，两台相同的主变压器，容量为 240/240/120MVA，短路阻抗 $U_{k(1-2)}\% = 14$ ， $U_{k(3-1)}\% = 25$ ， $U_{k(2-3)}\% = 8$ ，两台主变压器同时运行的负载为 65%，220kV 架空线路进线 2 回，110kV 架空负荷出线 8 回，10kV 电缆负荷出线 12 回，设两段，每段母线出线 6 回，每回电缆平均长度为 6km，电容电流为 2A/km，220kV 母线穿越功率为 200MVA，220kV 母线短路容量为 16000MVA，主变压器 10kV 出口设计 XKK-10-2000-10 限流电抗器一台。请回答下列问题。（2012）

(1) 该变电所采用下列哪组主接线方式是经济合理、运行可靠的？

- (A) 220kV 内桥、110kV 双母线、10kV 单母线分段
- (B) 220kV 单母线分段、110kV 双母线、10kV 单母线分段
- (C) 220kV 外桥、110kV 单母线分段、10kV 单母线分段
- (D) 220kV 双母线、110kV 双母线、10kV 单母线分段

答案：[B]

解答过程：1) 根据《220kV~500kV 变电所设计技术规程》(DL/T 5218—2005) 第 7.1.4 条可知对一般性质的 220kV 变电所的配电装置，出线回路数在 4 回及以下时，可采用其他主接线（指除了双母线、双母单分段、双母双分段的其他接线型式）。本题中的 220kV 进线为 2 回，故可排除 D 答案。由于 220kV 母线有穿越功率 200MVA，故 220kV 配电装置可采用外桥接线或单母分段接线；“220kV 变电所的 110kV 配电装置，当出线回路 6 回及以上时或 8 回及以上时，宜采用双母线接线。”本题中 110kV 架空出线 8 回，宜采用双母线接线，故可排除 C 答案。

2) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 47 页相关内容，6~10kV 配电装置出线回路为 6 回及以上时，宜采用单母分段接线，本题 10kV 侧有电缆负荷出线 12 回，因而采用单母线分段接线。

综上所述，本题选 B。

(2) 请计算该变电站最大运行方式时，220kV 进线的额定电流为下列哪项？

- (A) 1785A
- (B) 1344A
- (C) 819A
- (D) 630A

答案：[B]

解答过程：系统的最大运行方式是指系统在该运行方式下具有最小的短路阻抗值，因而即发生短路后短路电流最大的一种运行方式。根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 6-3：“对桥形接线，出线的计算工作电流为最大负荷电流加系统穿越功率产生的电流，或者对双回出线，为 1.2~2 倍 1 回线最大负荷电流。”本题为双出线，故在最大运行方式下，220kV 进线的额定电流为

$$I_g = \frac{2 \times 240 \times 0.65 + 200}{\sqrt{3} \times 220} \text{ kA} \approx 1.344 \text{ kA} \approx 1344 \text{ A} \text{ (考虑两台主变和穿越功率)}$$

表 6-3 回路持续工作电流

回路名称		计算工作电流	说明
出线	带电抗出线	电抗器额定电流	
	单回路	线路最大负荷电流	包括线路损耗和负荷转移过来的负荷
	双回路	(1.2~2)倍一回线的正常最大负荷电流	包括线路损耗和负荷转移过来的负荷
	环形与一台半断路器接线回路	两个相邻回路正常负荷电流	考虑断路器事故或检修时,一个回路加另一最大回路负荷电流的可能
	桥形接线	最大元件负荷电流	桥回路尚需考虑系统穿越功率
变压器回路		1.05 倍变压器额定电流	1. 根据在 0.95 额定电压以上时其容量不变;2. 带负荷调压变压器应按变压器的最大工作电流
		(1.3~2.0)倍变压器额定电流	若要求承担另一台变压器事故或检修时转移的负荷,则按第五章内容确定
母线联络回路		1 个最大电源元件的计算电流	
母线分段回路		分段电抗器额定电流	1. 考虑电源元件事故跳闸后仍能保证该段母线负荷;2. 分段电抗器一般发电厂为最大一台发电机额定电流的 50% ~ 80%,变电所应满足用户的一级负荷和大部分二级负荷
旁路回路		需旁路的回路最大额定电流	
发电机回路		1.05 倍发电机额定电流	当发电机冷却气体温度低于额定值时,允许提高电流为每低 1℃ 加 0.5%,必要时可按此计算
电动机回路		电动机的额定电流	

(3) 假设该变电站 220kV 母线正常为合环运行, 110kV、10kV 母线为分列运行, 则 10kV 母线的短路电流应是下列哪项值? (计算过程小数点后保留三位, 最终结果小数点后保留一位)

- (A) 52.8kA (B) 49.8kA (C) 15.0kA (D) 14.8kA

答案: [D]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第四章有关短路电流计算内容计算如下:

1) 根据式 (4-10), 系统电抗为

$$X_{*} = \frac{S_j}{S_d} = \frac{100}{16000} = 0.00625$$

2) 变压器电抗计算如下:

$$U_{k1} \% = \frac{1}{2}(U_{k(1-2)} \% + U_{k(3-1)} \% - U_{k(2-3)} \%) = \frac{1}{2}(14 + 25 - 8) = 15.5$$

$$U_{k2} \% = \frac{1}{2}(U_{k(1-2)} \% + U_{k(2-3)} \% - U_{k(3-1)} \%) = \frac{1}{2}(14 + 8 - 25) = -1.5$$

$$U_{k3} \% = \frac{1}{2}(U_{k(2-3)} \% + U_{k(3-1)} \% - U_{k(1-2)} \%) = \frac{1}{2}(8 + 25 - 14) = 9.5$$

$$X_1 = \frac{U_{k1}\%}{100} \times \frac{S_j}{S_e} = \frac{15.5}{100} \times \frac{100}{240} = 0.065$$

$$X_2 = \frac{U_{k2}\%}{100} \times \frac{S_j}{S_e} = \frac{-1.5}{100} \times \frac{100}{240} = -0.006$$

$$X_3 = \frac{U_{k3}\%}{100} \times \frac{S_j}{S_e} = \frac{9.5}{100} \times \frac{100}{240} = 0.040$$

3) 电抗器电抗计算如下:

$$X_* = \frac{X_k\%}{100} \times \frac{U_e}{\sqrt{3}I_e} \times \frac{S_j}{U_j^2} = \frac{10}{100} \times \frac{10}{\sqrt{3} \times 2} \times \frac{100}{10.5^2} = 0.262$$

4) 220kV 合环运行, 110kV、10kV 母线为分列运行, 系统电抗图如图 2-1 所示。

5) 根据式 (4-20) 可得短路电流为

$$I_z = I''_j = \frac{1}{X_{*\Sigma}} I_j = \frac{1}{0.006 + 0.065 + 0.04 + 0.262} \times 5.5 \text{ kA} \approx 14.8 \text{ kA}$$

(4) 从系统供电经济合理性考虑, 该变电站一台主变 10kV 侧最少应带下列哪项负荷值时, 该变压器选型是合理的?

- (A) 120MVA (B) 72MVA
(C) 36MVA (D) 18MVA

答案: [C]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 216 页第 2 条第 1 款第一小点: 最大机组容量为 125MW 及以上的发电厂, 当有两种升高电压向用户供电或系统连接时, 宜采用三绕组变压器。每个绕组的通过容量应达到变压器额定容量的 15% 及以上, 即达到 $240\text{MVA} \times 15\% = 36\text{MVA}$ 及以上。

分析: 三绕组变压器的容量以 3 个绕组中容量最大的那个绕组的容量表示。

(5) 该变电站每台主变压器配置一台过补偿 10kV 消弧线圈, 其计算容量应为下列哪个数值?

- (A) 1122kVA (B) 972kVA (C) 561kVA (D) 416kVA

答案: [C]

解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 18.1.4 条及式 (18.1.4) 得

$$Q = KI_c \frac{U_N}{\sqrt{3}} = 1.35 \times 6 \times 6 \times 2 \times \frac{10}{\sqrt{3}} \text{ kVA} = 561.2 \text{ kVA}$$

题 2: 110kV 有效接地系统中的某一变电所有 110kV/35kV/10kV, 31.5MVA 主变压器两台, 110kV 进线 2 回、35kV 出线 5 回、10kV 出线 10 回, 主变 110kV、35kV、10kV 三侧的联结组标号为 YNyn0d11。

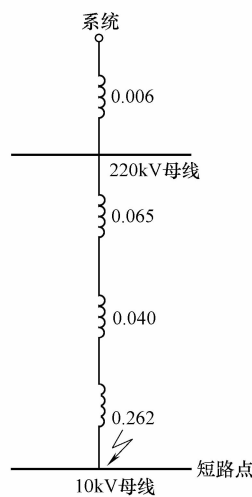


图 2-1 系统电抗图

(1) 如主变需常切换, 110kV 线较短, 有穿越功率 20MVA, 各侧采用以下哪组主接线经济合理? 为什么? (2009)

- (A) 110kV 内桥接线, 35kV 单母接线, 10kV 单母分段接线
- (B) 110kV 外桥接线, 35kV 单母分段接线, 10kV 单母分段接线
- (C) 110kV 单母接线, 35kV 单母分段接线, 10kV 单母分段接线
- (D) 110kV 变压器组接线, 35kV 双母接线, 10kV 单母接线

▶ 答案: [B]

▶ 解答过程: 1) 根据《35~110kV 变电所设计规范》(GB 50059—2011) 第 3.2.3 条: “35~110kV 电气接线宜采用桥形、扩大桥形、线路变压器组或线路分支接线、单母线或单母线分段的接线。” 第 3.2.4 条: “35~66kV 线路为 8 回及以上时, 宜采用双母线接线。110kV 线路为 6 回及以上时, 宜采用双母线接线”。本题中, 110kV 进线两回, 可采用桥形、线路变压器组、单母线接线形式; 35kV 出线 5 回, 可采用扩大桥形、单母线或分段单母线接线; 10kV 出线 10 回, 可采用扩大桥形、单母线或者分段单母线的接线形式。

2) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 51 页可知内桥接线的适用范围为: 内桥接线适用于较小容量的发电厂、变电所, 并且变压器不经常切换或线路较长、故障率较高的情况; 外桥接线的适用范围为: 适用于较小容量的发电厂、变电所, 并且变压器的切换频繁或线路较短、故障率较少的情况。此外, 线路有穿越功率, 也宜采用外桥接线。本题中 110kV 侧线路较短, 有穿越功率 20MVA, 110kV 侧应该选外桥接线形式。综上所述, 本题选 B。

(2) 假如 110kV 采用内桥、主变 110kV 隔离开关需能切合空载变压器, 由于材质等原因, 各变压器的空载励磁电流不相同, 按隔离开关的切合能力, 该变压器的空载励磁电流最大不可能超过下列哪项?

- (A) 0.9A (B) 1.2A (C) 2.0A (D) 2.9A

▶ 答案: [C]

▶ 解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 11.0.9 条规定: “选用的隔离开关应具有切合电感、电容性小电流的能力, 应使电压互感器、避雷器、空载母线、励磁电流不超过 2A 的空载变压器及电容电流不超过 5A 的空载线路”。故本题选 C。

(3) 假如 110kV 采用外桥接线, 有 20MVA 穿越功率, 请计算桥回路持续工作电流。

- (A) 165.3A (B) 270.3A (C) 330.6A (D) 435.6A

▶ 答案: [B]

▶ 解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》(第 232 页) 表 6-3 可知桥形接线的计算工作电流为最大元件负荷电流并考虑系统穿越功率, 本题中最大元件为变压器, 有 20MVA 的穿越功率。故有

$$I_g = \frac{31.5 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 110} \text{A} + \frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 110} \text{A} = 270.3 \text{A}$$

故本题选 B。

(4) 假如 35kV 出线电网单相接地故障电容电流为 14A，需要 35kV 中性点设消弧线圈接地，采用过补偿，则需要的消弧线圈容量为（ ）。

- (A) 250kVA (B) 315kVA (C) 400kVA (D) 500kVA

答案：[C]

解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 18.1.4 条以及式（18.1.4）有

$$Q = KI_c \frac{U_N}{\sqrt{3}} = 1.35 \times 14 \times \frac{35}{\sqrt{3}} \text{kVA} = 382 \text{kVA}$$

故本题选 C。

题 3：某屋外 220kV 变电所，海拔 1000m 以下，试回答下列问题：（2009）

(1) 若地处高海拔，修正后 A_1 值为 2000mm，则 L_1 修正后应增加（ ）。注：其中 L_1 值为不同相带电部分之间的距离。

- (A) 200mm (B) 300mm (C) 100mm (D) 250mm

答案：[A]

解答过程： A_1 的值经修正后，根据《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）附录 B 注：“ A_2 值和屋内 A_1 、 A_2 可按本图的比例递增。”修正前，对 220kV 系统 A_1 的值为 1800mm， A_1 现修正为 2000mm， L_1 的值也应相应增加 200mm。

(2) 若地处缺水严寒地区，主变 125MVA，灭火系统宜采用（ ）。为什么？

- (A) 水喷雾 (B) 合成泡沫 (C) 排油注氮 (D) 固定式气体

答案：[D]

解答过程：根据《火力发电厂与变电站设计防火规范》（GB 50229—2006）第 7.1.8 条条文明可知主变压器可采用水喷雾或其他介质的灭火介质进行灭火，故答案中所提的四种方式都可采用，但考虑到地处严寒缺水地区水易结冰，可首先排除答案 A。又根据《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）第 8.5.4 条：“厂区内升压站单台容量为 90000kVA 及以上油浸变压器，220kV 及以上独立变电站单台容量为 125000kVA 及以上的油浸变压器应设置水喷雾灭火系统、合成泡沫喷淋系统、排油注氮系统或其他灭火装置。对缺水或严寒地区，当采用水喷雾、泡沫喷淋系统有困难时，也可采用其他固定灭火措施。”综上所述，应选 D 为正确答案。

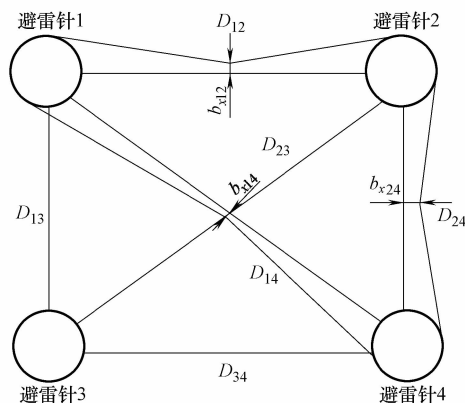


图 2-2 多只避雷针的联合保护范围示意图

(3) 该 220kV 开关站为 60m × 70m 矩形布置, 四角各安装高 30m 的避雷针, 保护物 6m 高 (并联电容器), 计算相邻 70m 的两针间, 保护范围一侧的最小宽度 b_x 为 ()。

- (A) 20m (B) 24m (C) 25.2m (D) 33m

▶ 答案: [B]

▶ 解答过程: 多只避雷针的联合保护范围示意图如图 2-2 所示。

1) 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 5.2.1 条及第 5.2.2 条各符号定义知

$$h = 30\text{m}; h_x = 6\text{m}; h_a = h - h_x = 30\text{m} - 6\text{m} = 24\text{m}; P = 1$$

2) 由于题目要求计算的是相邻 70m 的两针间保护范围的一侧最小宽度, 设避雷针 1 和避雷针 2 之间的距离为 70m, 首先计算避雷针 1、2 保护范围一侧的最小宽度 b_{x12} 。

$$\frac{D_{12}}{h_a P} = \frac{70}{24 \times 1} = 2.92, \frac{h_x}{h} = \frac{6}{30} = 0.2$$

查《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 图 4 得

$$\frac{b_{x12}}{h_a P} = 1.01 \Rightarrow b_{x12} = 1.01 h_a P = 1.01 \times 24 \times 1\text{m} \approx 24\text{m}$$

故本题选 B。

▶ 分析: 避雷针 (包括单针保护、多针联合保护) 的保护范围经常出题, 应该熟练掌握。

题 4: 已知某发电厂 220kV 配电装置有 2 回进线、3 回出线、双母线接线, 屋外配电装置普通中型布置。(2008)

(1) 若该配电装置主变压器为两台 300MW 发电机的升压变压器, 已知机组的额定功率为 300MW, 功率因数为 0.85, 最大连续输出功率为 350MW, 厂用工作变压器的计算负荷为 45000kVA, 其变压器容量应为下列何值?

- (A) 400MVA (B) 370MVA (C) 340MVA (D) 300MVA

▶ 答案: [B]

▶ 解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 5-1 节 (第 214 页), 对于单元连接的变压器, 主变压器的容量按以下条件中较大的选择:

1) 按发电机的额定容量扣除本机组的厂用负荷, 留有 10% 的裕度, 得

$$S = 1.1 \times \left(\frac{300}{0.85} - 45 \right) \text{MVA} = 338.7 \text{MVA}$$

2) 按发电机的最大连续输出容量扣除本机组的厂用负荷, 得

$$S = \frac{350}{0.85} \text{MVA} - 45 \text{MVA} = 366.8 \text{MVA}$$

3) 选以上两种计算结果的较大值为 366.8MVA, 故本题选 B。

▶ 分析: 主变压器容量的选择这个知识点经常出题。

(2) 若该配电装置的主变压器容量为 340MVA，主变 220kV 侧架空导线采用铝绞线，按经济电流密度选择其导线应为下列哪种规格？（经济电流密度为 $0.72\text{A}/\text{mm}^2$ ）

- (A) $2 \times 400\text{mm}^2$ (B) $2 \times 500\text{mm}^2$ (C) $2 \times 630\text{mm}^2$ (D) $2 \times 800\text{mm}^2$

答案：[D]

解答过程：1) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 6-3 可得变压器回路计算工作电流 I_g 为（考虑变压器的过负荷能力）

$$I_g = \frac{(1.3 \sim 2) S_e}{\sqrt{3} U_N} = \frac{(1.3 \sim 2) \times 340 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220} \text{A} \approx 1160 \sim 1784.5 \text{A}$$

2) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 8-3 节第 2 条第 2 款：按经济电流密度选择软导线截面的公式计算如下：

$$S_j = \frac{I_g}{j} = \frac{1160 \sim 1784.5}{0.72} \text{mm}^2 \approx 1611 \sim 2478.5 \text{mm}^2$$

3) 根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 7.1.6 条规定：当无合适规格导体时，导体截面可按经济电流密度计算截面的相邻下一档选取，故本题选 D。

分析：本题选择的是主变 220kV 侧导线，而非配电装置的 220kV 进线。

(3) 主变压器高压侧配置的交流无间隙金属氧化锌避雷器持续运行电压（相地）、额定电压（相地）应为下列哪组计算值？

- (A) $\geq 145\text{kV}$ ， $\geq 189\text{kV}$ (B) $\geq 140\text{kV}$ ， $\geq 189\text{kV}$
(C) $\geq 145\text{kV}$ ， $\geq 182\text{kV}$ (D) $\geq 140\text{kV}$ ， $\geq 182\text{kV}$

答案：[A]

解答过程：1) 根据《标准电压》（GB/T 156—2007）表 4 可得 220kV 的交流三相系统的设备最高电压 $U_m = 252\text{kV}$ 。

表 4 标称电压 35kV 以上至 220kV 的交流三相系统及相关设备的标称电压 kV

设备最高电压	系统标称电压
72.5	66
126(123)	110
251(245)	220

注：1. 表中数值为线电压。
2. 圆括号中的数值为用户有要求时使用。

2) 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）表 3 得交流无间隙金属氧化锌避雷器持续运行电压（相地）、额定电压（相地）分别为 $U_m/\sqrt{3} = 252\text{kV}/\sqrt{3} = 145.5\text{kV}$ 和 $0.75 U_m = 0.75 \times 252\text{kV} = 189\text{kV}$ 。故本题选 A 为正确答案。

表 3 无间隙金属氧化物避雷器持续运行电压和额定电压

系统接地方式		持续运行电压 kV		额定电压 kV	
		相地	中性点	相地	中性点
有效 接地	110kV	$U_m/\sqrt{3}$	$0.45 U_m$	$0.75 U_m$	$0.57 U_m$
	220kV	$U_m/\sqrt{3}$	$0.13 U_m (0.45 U_m)$	$0.75 U_m$	$0.17 U_m (0.57 U_m)$
	330kV、 500kV	$\frac{U_m}{\sqrt{3}} (0.59 U_m)$	$0.13 U_m$	$0.75 U_m (0.8 U_m)$	$0.17 U_m$
不接地	3~20kV	$1.1 U_m; U_{m \cdot g}$	$0.64 U_m; U_{m \cdot g}/\sqrt{3}$	$1.38 U_m; 1.25 U_{m \cdot g}$	$0.8 U_m; 0.72 U_{m \cdot g}$
	35kV、66kV	U_m	$U_m/\sqrt{3}$	$1.25 U_m$	$0.72 U_m$
消弧线圈		$U_m; U_{m \cdot g}$	$U_m/\sqrt{3}; U_{m \cdot g}/\sqrt{3}$	$1.25 U_m; 1.25 U_{m \cdot g}$	$0.72 U_m; 0.72 U_{m \cdot g}$
低电阻		$0.8 U_m$	—	U_m	—
高电阻		$1.1 U_m; U_{m \cdot g}$	$1.1 U_m/\sqrt{3}; U_{m \cdot g}/\sqrt{3}$	$1.38 U_m; 1.25 U_{m \cdot g}$	$0.8 U_m; 0.72 U_{m \cdot g}$

注：1. 220kV 括号外、内数据分别对应变压器中性点经电抗器接地和不接地。
2. 330kV、500kV 括号外、内数据分别于工频过电压 1.3p. u. 和 1.4p. u. 对应。
3. 220kV 变压器中性点经电抗器接地和 330kV、500kV 变压器或高压并联电抗器中性点经电抗器接地时，接地电抗器的电抗与变压器或高压并联电抗器的零序电抗之比小于等于 1/3。
4. 110kV、220kV 变压器中性点不接地且绝缘水平与表 21 所列数值时，避雷器的参数需另行研究确定。

(4) 若主变压器回路最大短路电流为 25kA，主变压器容量为 340MVA，说明主变高压侧电流互感器电流比及保护用电流互感器配置选择下列哪一组最合理？

- (A) 600/1A 5P10/5P10/TPY/TPY
- (B) 800/1A 5P20/5P20/TPY/TPY
- (C) 2×600/1A 5P20/5P20/TPY/TPY
- (D) 1000/1A 5P30/5P30/5P30/5P30

答案：[C]

解答过程：1) 由第 (2) 小题的计算结果可知主变高压侧持续工作电流 $I_g = 936.91A$ 。

2) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 6-5 节一 (三) 电流互感器一次额定电流的选择：“电流互感器一次额定电流应尽量选择得比回路中正常工作电流大 1/3”，故其一次额定电流可取 $936.91A \times 4/3 = 1249.2A$ (根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 15.0.6 条也可得出相同的结论)。

3) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 15.0.4 条第 2 款：“220kV 及以下系统的电流互感器一般可不考虑暂态影响，可采用 P 类电流互感器。对某些重要回路可适当提高所选电流互感器的准确限制系数或饱和电压，以减缓暂态影响。”故可选用 P 类或 TPY 类电流互感器。

4) 求得极限准确倍数： $25/(0.6 \times 2) = 20.83$ 。由以上讨论可知，本题选 C 为正确答案。

题 5：某工程 4 台 300MW 机组接入 330kV，主接线为 4 进 4 出，采用一台半断路器组成四个完整串。(2005)

(1) 初期只上 1、2 号两台机组和一回出线时，分析断路器的配置正确的为（ ）。

- (A) 1 号机和出线组成一个完整串、2 号机组组成另一个完整串，共上 6 台断路器
- (B) 1 号机和出线组成一个完整串、2 号机通过 2 个断路器接入两母线，即 5 台断路器（一串半）
- (C) 1 号机和出线组成一个完整串、2 号机通过 1 个断路器接入 I 母线、另一侧经隔离开关接入 II 母，即装 4 台断路器
- (D) 1 号机和出线组成一个完整串、2 号机采用跨条接入 I 母线和 II 母线即形成 3 台断路器配置的接线

答案：[B]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 2-3 节第 2 条第 3 款：“最终为一台半断路器接线的过渡接线，应根据设备质量、间隔配置位置和扩建情况，可采用断路器数量少的接线。对于 3 回进出线，考虑 3~5 台断路器。”本题中主接线最终为 4 进 4 出，首期只上 2 台机组和 1 回出线，进出线数为 3 回，为便于过渡到最终接线，应该考虑采用 1 号机和出线组成一个完整串，2 号机通过 2 个断路器接入两母线，即 5 台断路器（一串半）的过渡接线。

(2) 若本工程初期建 2 台机组和 2 回线路组成 2 串，远期装 4 台和 4 回线，对隔离开关的配置下列哪种正确？原因是什么？

- (A) 进出线必须配隔离开关
- (B) 进出线都不配隔离开关
- (C) 初期 2 回进出线必须配，以后扩建的 2 回进线和 2 回出线可以不设隔离开关
- (D) 出线可不设隔离开关，进线必须设隔离开关

答案：[C]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 2-8 节第 1 条第 5 款：“一台半断路器接线中，视发变电工程的具体情况，进出线可装设隔离开关也可不装设隔离开关”。又根据《火力发电厂设计技术规程》（DL 5000—2000）第 13.2.13 条：“在一台半断路器的接线中，电源线宜与负荷线配对成串，同名回路配置在不同串中，初期仅两串时，同名回路宜分别接入不同侧母线，进出线应装设隔离开关。当一台半断路器接线达到三串及以上时，同名回路可接于同一侧母线，进出线不宜装设隔离开关”，故选 C。

(3) 如发电机出口额定电压 U_e 为 25kV，最高工作电压 $U_{\max} = 26.25\text{kV}$ ，发电机中性点采用高阻接地，选择发电机出口无间隙氧化锌避雷器的额定电压 U_e 和持续运行电压为（ ）。

- (A) 32.8/15.2kV
- (B) 36.2/28.9kV
- (C) 31.3/25kV
- (D) 32.8/26.3kV

答案：[D]

解答过程：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 5.3.4 条及表 3 可得，在高电阻的接地方式下，避雷器的持续运行电压和额定电压分别不低于 $U_{m.g} = 26.25\text{kV}$ 和 $1.25U_{m.g} = 1.25 \times 26.25\text{kV} = 32.8\text{kV}$ 。

(4) 本工程在前期时，曾进行过 330kV 采用双母线四分段接线（方案一）和采用一台半断路器接线（方案二）比较，以下是比较报告中的结论，错误的是哪个？原因是什么？

- (A) 在无设备检修情况下，一台断路器故障，方案一最大可能停电回路数与方案二最大停电回路数相同均为二回
- (B) 当有一回断路器检修、一台故障，方案一最大可能的停电回路数要少于方案二
- (C) 双母四分段接线与一台半接线所用的断路器数相同
- (D) 按本工程进出线回路数，宜采用一台半接线

答案：[B]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 2-1 及表 2-2，A、C 答案正确，B 答案错误；根据《火力发电厂设计技术规程》（DL 5000—2000）第 13.2.13 条，D 答案正确。

表 2-1 双母线四分段带旁路接线（8 回进出线）故障停电范围

运行情况	故障雷响	停电回路数	停电百分比(%)	接线图
无设备检修	出线断路器 (或母线)故障	2	25	
	母联或分段断路器故障	4	50	
有一台断路器检修	出线断路器 (或母线)故障	1~3	12.5~37.5	
	母联或分段断路器故障	3~5	37.5~62.5	
有一段母线检修	出线断路器 (或母线)故障	2~4	25~50	
	母联或分段断路器故障	4~6	50~75	

表 2-2 一台半断路器（8 回进出线）故障停电范围

运行情况	故障类别	停电回路数	停电百分比(%)
无设备检修	母线侧断路器故障	1	12.5
	母线故障	0	0
	中间断路器故障	2	25
有一台断路器检修	母线侧断路器故障	1~2	12.5~25
	母线故障	0~1	0~12.5
	中间断路器故障	2	25
一组母线检修	母线侧断路器故障	2	25
	母线故障	0	0
	中间断路器故障	2	25

(5) 下列隔离开关设置表述错误的是哪一种？

- (A) 母线避雷器应设隔离开关
- (B) 线路避雷器不应设隔离开关
- (C) 进线变压器的避雷器不应设隔离开关
- (D) 变压器中性点避雷器不应设隔离开关

答案：[A]

解答过程：依据 1) 《火力发电厂设计技术规程》(DL 5000—2000) 第 13.2.6 条及条文说明：“330 ~ 500kV 避雷器的功能除用以保护大气过电压外，还借以限制操作过电压，也即相应回路投入运行后不允许退出运行，故规定 330 ~ 500kV 避雷器不应装设隔离开关。变压器中性点避雷器不应装设隔离开关。”故 A 答案错误。依据 2) 根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 第 5.1.5 条规定：“330kV 及以上进、出线 and 母线上装设的避雷器及进、出线电压互感器不应装设隔离开关”，也可得到 A 答案错误。

题 6：某电厂 220kV 双母线单分段接线，二回发变组接母线及六回出线，每段母线装一组 PT 和避雷器，若升压站运行方式为分段和母联断路器闭合，线路均匀接在三段母线上。(2005)

(1) 当一段母线故障，同时分段或母联断路器其中之一拒动，试分析停电回路可能有 ()。

- (A) 1/2
- (B) 1/3
- (C) 2/3
- (D) 全停

答案：[C]

解答过程：注意到题目所说的 6 回线路均匀接在三段母线上，一段母线故障，则该段母线上的 2 回出线停电，另外分段或母联断路器之一拒动，与之相连的 2 回出线也停电，故有 4 回线路停电，占 6 回出线的 2/3。

(2) 下列哪种回路只需在断路器的一侧装隔离开关？

- (A) 出线
- (B) 分段
- (C) 母联
- (D) 发变组

答案：[D]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 2-8 节第 1 条第 1 款：“容量为 200MW 及以上大机组与双绕组变压器为单元连接时，其出口不装设隔离开关，但应有可拆连接点。”

题 7：某 110kV 户外变电所，设有两台主变压器，2 回电源进线（电源来自某 220kV 枢纽变电站的 110kV 出线），6 回负荷出线。负荷出线主保护为速断保护，整定时间为 T₁；后备保护为过电流保护，整定时间为 T₂；断路器全分闸时间为 T₃。(供配电 2006)

(1) 请分析说明变电站主接线宜采用下列哪一种主接线方式？

- (A) 双母线
- (B) 双母线分段
- (C) 单母线分段
- (D) 单母线

答案：[A]

▶ 解答过程：根据《35kV~110kV 变电所设计规范》(GB 50059—2011) 第 3.2.3 条、3.2.4 条。

3.2.3 35kV~110kV 电气接线宜采用桥形、扩大桥形、线路变压器组或线路分支接线、单母线或单母线分段接线。

3.2.4 35kV~66kV 线路为 8 回及以上时，宜采用双母线接线。110kV 线路为 6 回及以上时，宜采用双母线接线。

本题中 110kV 有 6 回出线，故采用双母线为宜。

(2) 请分析说明下列出线间隔接线图 (见图 2-3) 中，断路器、隔离开关及接地开关的配置，哪一种是正确的？

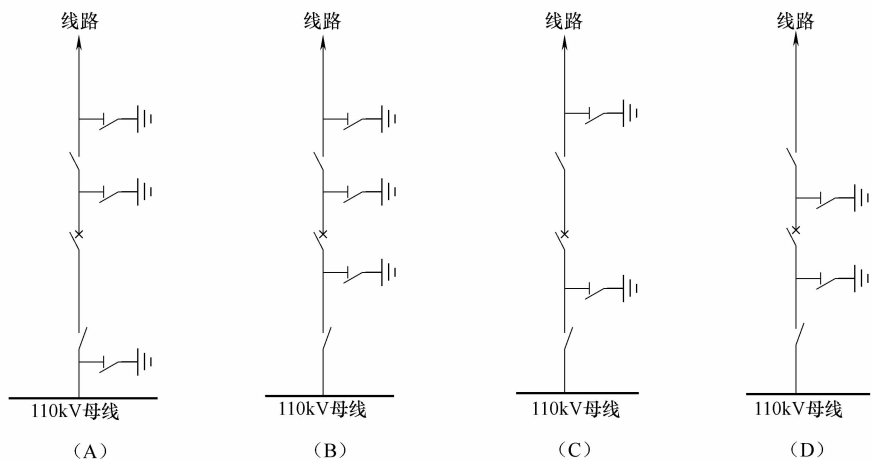


图 2-3 出线间隔接线图

▶ 答案：[B]

▶ 依据：《3~110kV 高压配电装置设计规范》(GB 50060—2008) 第 2.0.3 条：“电压为 63kV 及 110kV 的配电装置，每段母线上宜装设接地刀闸或接地器，对断路器两侧隔离开关的断路器侧和线路隔离开关的线路侧宜装设接地刀闸。”

(3) 请说明在负荷出线回路导体选择时，验算导体的短路热效应的计算时间应采用哪项？

(A) $T_1 + T_2 + T_3$ (B) $T_1 + T_2$ (C) $T_2 + T_3$ (D) $T_1 + T_3$

▶ 答案：[D]

▶ 解答过程：《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 5.0.13 条：“确定短路电流热效应计算时间时，应遵守下列规定：

1) 对导体 (不包括电缆) 宜采用主保护动作时间加相应断路器开断时间，主保护有死区时，可采用能对该死区起作用的后备保护动作时间，并采用相应处的短路电流值。

2) 对电器，宜采用后备保护动作时间加相应断路器的开断时间。”

(4) 请说明选择 110kV 断路器时，其最高工作电压的最低值不得低于下列哪个数值？

- (A) 110kV (B) 115kV (C) 126kV (D) 145kV

▶ 答案：[C]

▶ 解答过程：依据 1：《高压输变电设备的绝缘配合》（GB 311.1—1997）表 1。系统标称电压为 110kV 时设备最高工作电压为 126kV。依据 2：《标准电压》（GB/T 156—2003）表 4。

表 4 35kV 以上至 220kV 的交流三相系统及相关设备的标称电压

设备最高电压/kV	系统标称电压/kV
72.5	66
126	110
252	220

(5) 假设 110kV 主接线形式为双母线接线，试分析说明验算 110kV 导体和电器的动稳定和热稳定所用的短路电流应按以下哪种运行工况考虑？

- (A) 110kV 系统最大运行方式下两台主变并列运行
(B) 110kV 系统最大运行方式下双母线并列运行
(C) 110kV 双母线并列运行
(D) 110kV 母线分列运行

▶ 答案：[B]

▶ 解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 5.0.4 条：“校验导体和电器动稳定、热稳定以及电器开断电流所用的短路电流，应按系统最大运行方式下可能流经被校验导体和电器的最大短路电流。确定短路电流时，应按可能发生最大短路电流的正常接线方式计算，不应按仅在切换过程中可能并列运行的接线方式确定。”

第三章 短路电流计算

35

一、大纲要求 ★★★

- 1) 掌握短路电流的计算方法（实用算法）；
- 2) 掌握短路电流计算结果的应用；
- 3) 熟悉短路电流的限制措施。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 20 分，其中专业知识占 10 分左右，案例占 10 分左右。考点分布较广，考试题目有一定难度。答题依据主要有《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第四章、《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）附录 F。重点考查实用短路电流算法、短路电流计算结果的应用（主要用于选择导体和电器设备）、短路电流的限制措施等内容。近年来加大了对 6kV 高压厂用电短路电流计算和 380V 低压厂用电系统短路电流计算等内容的考查，涉及的规程规范有：《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）附录 M 和附录 N、《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》（DL/T 5155—2002）附录 D。

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

(1) 关于短路电流及其应用，下列表述中哪个是正确的？（2012）

- (A) 系统的短路电流与系统接线有关，与设备参数无关
- (B) 系统的短路电流与系统接地无关，与设备参数无关
- (C) 继电保护整定计算，与最大短路电流有关，与最小短路电流无关
- (D) 继电保护整定计算，与最大、最小短路电流有关

答案：[D]

分析：系统的短路电流与系统接线有关，与设备参数也有关。继电保护整定计算与最大、最小短路电流有关，其中最小短路电流用于确定保护的灵敏度。

(2) 下列哪项措施，对限制三相对称短路电流是无效的？（2011）

- (A) 将并列运行的变压器改为分列运行
- (B) 提高变压器的短路阻抗
- (C) 在变压器中性点加小电抗
- (D) 在母线分段处加装电抗器

答案：[C]

依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 4.1 节有关内容，在变压器中性点加小电抗器，可以限制单相短路电流，但对抑制三相对称短路电流无效。

(3) 预期的最大短路冲击电流在下列哪一时刻？(2011)

- (A) 短路发生后的短路电流开断瞬间
- (B) 短路发生后的 0.01s
- (C) 短路发生的瞬间
- (D) 短路发生后的一个周波时刻

答案：[B]

依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 4.6 节第一条对冲击电流的叙述：三相短路发生后的半个周期（ $t = 0.01\text{s}$ ），短路电流的瞬时值到达最大，称为冲击电流 i_{ch} 。

(4) 在电力系统零序短路电流计算中，变压器的中性点若经过电抗器接地，在零序网络中，其等效电抗应为原电抗值的（ ）。(2008)

- (A) $\sqrt{3}$ 倍
- (B) 不变
- (C) 3 倍
- (D) 增加

答案：[C]

依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 142 页：“发电机或变压器的中性点是经阻抗接地的，则必须将该阻抗增加 3 倍后再列入零序网络。”

分析：短路电流计算分为对称短路电流计算和不对称短路电流计算。其中不对称短路电流计算用对称分量法求解，可将对称分量分解为正序、负序和零序网络。

(5) 某变压器低压侧的线电压为 400V，若每相回路的总电阻为 $15\text{m}\Omega$ ，总电抗为 $20\text{m}\Omega$ ，其三相短路电流周期分量的起始有效值为下列何值？（短路时可认为低压厂变高压侧电压不变，不考虑电动机反馈）(2013)

- (A) 16kA
- (B) 11.32kA
- (C) 9.24kA
- (D) 5.33kA

答案：[C]

依据：《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）附录 N（提示的附录）公式（N2）。

$$I_{\text{B}}'' = \frac{U}{\sqrt{3} \times \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times \sqrt{15^2 + 20^2}} \text{kA} \approx 9.24 \text{kA}$$

2. 多项选择题

(1) 变电所中，所用电低压系统的短路电流计算原则以下哪几条是正确的？(2012)

- (A) 应按单台所用变压器进行计算
- (B) 应计及电阻

- (C) 系统阻抗按低压侧短路容量确定
- (D) 馈线回路短路时, 应计及馈线电缆的阻抗

答案: [A、B、D]

依据: 《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002) 第 6.1.1 条。

6.1.1 所用低压系统的短路电流计算原则:

- 1 应按单台所用变压器进行计算;
- 2 应计及电阻;
- 3 系统阻抗宜按高压侧保护电器的开断容量或高压侧的短路电流容量确定;
- 4 短路电流计算时, 可不考虑异步电动机的反馈电流;
- 5 馈线回路短路时, 应计及馈线电缆的阻抗;
- 6 不考虑短路电流周期分量的衰减。

37

分析: 近年来, 低压厂(所)用电系统的短路电流计算经常出题, 这部分内容应该掌握。

(2) 根据短路电流实用计算法中 X_{js} 的意义, 在基准容量相同的条件下, 下列推断哪些是对的? (2012)

- (A) X_{js} 越大, 在某一时刻短路电流周期分量的标幺值越小
- (B) X_{js} 越大, 电源的相对容量越大
- (C) X_{js} 越大, 短路点至电源的电气距离越近
- (D) X_{js} 越大, 短路电流周期分量随时间衰减的程度越小

答案: [A、D]

分析: 当 X_{js} 大于 3 时, 可认为短路电流的周期分量不随时间而衰减。

(3) 电力系统中, 下面哪几项是属于电压不平衡? (2012)

- (A) 三相电压在幅值上不同
- (B) 三相电压相位差不是 120°
- (C) 三相电压幅值不是额定值
- (D) 三相电压在幅值上不同, 同时相位差不是 120°

答案: [A、B、D]

分析: 三相电压平衡指的是电压幅值相等, 频率相同, 相位差为 120° 。

(4) 为了限制短路电流, 在电力系统可以采用下列哪几项措施? (2012)

- (A) 提高电力系统的电压等级
- (B) 减小系统的零序阻抗
- (C) 增加变压器的接地点
- (D) 直流输电

答案: [A、D]

依据: 《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 119 页第三条。

三 限流措施

电力系统可以采取的限流措施：

- (1) 提高电力系统的电压等级。
- (2) 直流输电。
- (3) 在电力系统主网加强联系后，将次级电网解环运行。
- (4) 在允许的范围内，增大系统的零序阻抗，例如采用不带第三绕组或第三绕组为 Y 接线的全星形自耦变压器、减少变压器的接地点等。

发电厂和变电所中可以采取的限流措施：

- (1) 发电厂中，在发电机电压母线分段回路中安装电抗器。
- (2) 变压器分裂运行。
- (3) 变电所中，在变压器回路中装设分裂电抗器或电抗器。
- (4) 采用低压侧为分裂绕组的变压器。
- (5) 出线上装设电抗器。

► 分析：限制短路电流的措施又分为电力系统、发电厂和变电所的限流措施，两者是有区别的。

(5) 某区域电网中的一座 500kV 变电所，其 220kV 母线单相接地短路电流超标，请问采取以下哪些措施可经济、有效地限制单相接地短路电流？

- | | |
|---------------------|------------------|
| (A) 500kV 出线加装并联电抗器 | (B) 220kV 母线分段运行 |
| (C) 变压器中性点加装小电抗器 | (D) 更换高阻抗变压器 |

► 答案：[A、B]

► 依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 119 页。

► 分析：根据《电力系统设计手册》第 352 页有关内容。变压器中性点加装小电抗器可以限制单相短路电流，但是否是经济有效的限制措施仍有争议，手册上并没有明确，故 C 不列入答案。另外，根据手册，一般不采用更换高阻抗变压器的方式。

(6) 在短路电流实用计算中，采用的假设条件以下哪几项是正确的？(2011)

- (A) 考虑短路发生在短路电流最大值的瞬间
- (B) 所有计算均忽略元件电阻
- (C) 计算均不考虑磁路的饱和
- (D) 不考虑自动调节励磁装置的作用

► 答案：[A、C]

► 依据：依据 1：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 4 章第 4.1 节。

第4.1节 电力系统短路电流计算条件:

一、基本规定

短路电流实用计算中,采用以下假设条件和原则:

- (1) 正常工作中,三相系统对称运行。
- (2) 所有电源的电动势相位角相同。
- (3) 系统中的同步和异步电机均为理想电机,不考虑电机磁饱和、磁滞、涡流及导体趋肤效应等影响;转子结构完全对称;定子三相绕组空间位置相差 120° 电气角度。
- (4) 电力系统中各元件的磁路不饱和,即带铁心的电气设备电抗值不随电流大小发生变化。
- (5) 电力系统中所有电源都在额定负荷下运行,其中50%负荷接在系统侧。
- (6) 同步电机都具有自动调整励磁装置(包括强行励磁)。
- (7) 短路发生在短路电流为最大值瞬间。
- (8) 不考虑短路点的电弧阻抗和变压器的励磁电流。
- (9) 除计算短路电流的衰减时间常数和低压网络的短路电流外,元件的电阻略去不计。
- (10) 元件的计算参数均取其额定值,不考虑参数的误差和调整范围。
- (11) 输电线路的电容略去不计。
- (12) 用概率统计法制定短路电流运算曲线。

由第(4)款、第(7)款可知A、C正确;由第(6)款、第(9)款可知B、D错误。
依据2:《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)附录F。

F.1 短路电流计算条件

短路电流实用计算中,采用以下假设条件和原则:

- F.1.1 正常工作时三相系统对称运行。
- F.1.2 所有电源的电动势相位角相同。
- F.1.3 系统中的同步和异步电动机均为理想电动机,不考虑电机磁饱和、磁滞、涡流及导体趋肤效应等影响;转子结构完全对称;定子三相绕组结构完全相同,空间位置相差 120° 电气角度。
- F.1.4 电气系统中各元件的磁路不饱和,即带铁心的电气设备电抗值不随电流大小发生变化。
- F.1.5 电力系统中所有电源都在额定负荷下运行,其中50%负荷接在高压母线上。
- F.1.6 同步电机都具有自动调整励磁装置(包括强行励磁)。
- F.1.7 短路发生在短路电流最大值的瞬间。
- F.1.8 不考虑短路点的电弧阻抗和变压器的励磁电流。
- F.1.9 除计算短路电流的衰减时间常数和低压网络的短路电流外,元件的电阻都略去不计。
- F.1.10 元件的计算参数均取其额定值,不考虑参数的误差和调整范围。
- F.1.11 输电线路的电容略去不计。
- F.1.12 用概率统计法制定短路电流运算曲线。

► 分析:实用短路电流计算的基本假定有12条。

3. 案例题

题 1: 某 110/10kV 变电所，两台主变，两回 110kV 电源进线，110kV 为内桥接线，10kV 为单母线分段接线（分列运行），电气主接线如图 3-1 所示。110kV 桥开关和 10kV 分段开关均装设备用电源自动投入装置。系统 1 和系统 2 均为无穷大系统。架空线路 1 长 70km，架空线路 2 长 30km。该变电所主变压器负载率不超过 60%，系统基准容量为 100MVA。请回答下列问题：（2011）

(1) 如该变电所供电的负荷：一级负荷 9000kVA、二级负荷 8000kVA、三级负荷 10000kVA。请计算主变压器容量应为下列哪项数值？

- (A) 10200kVA (B) 16200kVA
(C) 17000kVA (D) 27000kVA

答案：[D]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 5-1 节第 2 条规定的主变压器的容量的确定原则：根据变电所所带负荷的性质和电网结构来确定主变压器的容量。对于有重要负荷的变电所，应考虑当一台变压器停运时，其余变压器容量在计及过负荷能力后的允许时间内，应保证用户的一级和二级负荷；对于一般性的变电所，当一台主变压器停运时，其余变压器容量能保证全部负荷的 70% ~ 80%。对于本题：

总负荷：9000kVA + 8000kVA + 10000kVA = 27000kVA

一、二级负荷：9000kVA + 8000kVA = 17000kVA，

由此可知，单台变压器的容量应大于 17000kVA。由题干可知该变电所主变压器的负荷率不超过 60%，故选两台容量为 27000kVA 的变压器，正常运行时的负荷率为 60%，有 $54000\text{kVA} \times 0.6 = 32400\text{kVA} > 27000\text{kVA}$ 。其他选项，按负荷率 60%，正常情况下并不能带动全部负荷。

(2) 假设主变压器容量为 31500kVA，电抗百分比 $U_d (\%) = 10.5$ ，110kV 架空线路电抗 $0.4\Omega/\text{km}$ 。请计算 10kV 1#母线最大三相短路电流接近下列哪项数值？

- (A) 10.07kA (B) 12.97kA (C) 13.86kA (D) 21.33kA

答案：[B]

解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 5.0.4 条：“确定短路电流时，应按可能发生最大短路电流的正常运行方式，不应按仅在切换过程中可能并列运行的接线方式。”

由题目可知，正常情况下，可能发生最大短路电流的正常运行方式是 1#变压器先故障

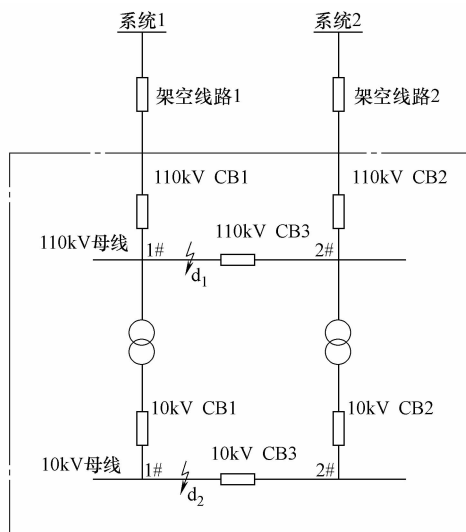


图 3-1 电气主接线

退出,接着备自投投入 10kV 分段开关,这时 2#线路带上 10kV 两段的负荷,然后 d2 点短路,计算过程如下:

$$\text{变压器: } X_{*d} = \frac{u_d\%}{100} \times \frac{S_j}{S_e} = \frac{10.5}{100} \times \frac{100}{31.5} = 0.333$$

$$\text{线路 1: } X_{*1} = X_1 \frac{S_j}{U_j^2} = 0.4 \times 70 \times \frac{100}{115^2} = 0.212$$

$$\text{线路 2: } X_{*2} = X_2 \frac{S_j}{U_j^2} = 0.4 \times 30 \times \frac{100}{115^2} = 0.091$$

$$\text{总电抗: } X_* = X_{*2} + X_{*d} = 0.091 + 0.333 = 0.424$$

$$I'' = \frac{I_j}{X_*} = \frac{1}{0.424} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 10.5} \text{ kA} \\ = 12.97 \text{ kA}$$

其等效电抗图如图 3-2 所示。

(3) 若在主变压器 10kV 侧串联电抗器以限制 10kV 短路电流,该电抗器的额定电流应选择下列哪项数值最合理?为什么?

- (A) 变压器 10kV 侧额定电流的 60%
- (B) 变压器 10kV 侧额定电流的 105%
- (C) 变压器 10kV 侧额定电流的 120%
- (D) 变压器 10kV 侧额定电流的 130%

► 答案: [D]

► 解答过程: 1) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 14.2.1 条。

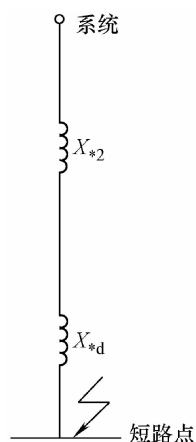


图 3-2 等效电抗图

14.2.1 普通限流电抗器的额定电流应按下列条件选择:

- 1 主变压器或馈线回路的最大可能工作电流。
- 2 发电厂母线分段回路的限流电抗器,应根据母线上事故切断最大一台发电机时,可能通过电抗器的电流选择,一般取该台发电机额定电流的 50%~80%。
- 3 变电站母线回路的限流电抗器应满足用户的一级负荷和大部分二级负荷的要求。

2) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 6-3,变压器回路的计算工作电流正常情况为 1.05 倍变压器的额定电流;在事故或检修时,变压器回路的最大可能工作电流为 1.3~2 倍变压器额定电流。综上,可知答案为 D。

(4) 如主变压器 10kV 回路串联 3000A 电抗器限制短路电流,若需将 10kV 母线短路电流从 25kA 限制到 20kA 以下,请计算并选择该电抗器的电抗百分值为下列哪项?

- (A) 3% (B) 4% (C) 6% (D) 8%

► 答案: [B]

► 解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (6-14) 得

$$x_k \% \geq \left(\frac{I_j}{I''} - x_{*j} \right) \frac{I_{ek}}{U_{ek}} \frac{U_j}{I_j} \times 100\%$$

因电抗器未选出，先要估算电源至短路点的总电抗标么值为

$$x_{*j} = \frac{I_j}{I''} = \frac{5.5}{25} = 0.22$$

已知 $U_j = 10.5 \text{ kV}$, $I_j = 5.5 \text{ kA}$, $I_{ek} = 3 \text{ kA}$, $U_{ek} = 10 \text{ kV}$, 代入以上已知量可得

$$x_k \% \geq \left(\frac{5.5}{20} - 0.22 \right) \times \frac{10.5 \times 3}{10 \times 5.5} \times 100\% = 3.15\%$$

(5) 请问该变电所发生下列哪种情况时，110kV 桥开关自动投入。为什么？

- (A) 主变差动保护动作
- (B) 主变 110kV 侧过电流保护动作
- (C) 110kV 线路无短路电流，线路失电压保护动作跳闸
- (D) 110kV 线路断路器手动分闸

答案：[C]

解答过程：根据《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB 14285—2006）第 5.3.2 条规定：“自动投入装置的功能设计应符合下列要求：除发电厂备用电源快速切换外，应保证在工作电源或设备断开后，才投入备用电源或设备；工作电源或设备上的电压，不论何种原因消失，除有闭锁信号外，自动装置均应动作；自动装置应保证只动作一次。”

题 2：某 125MW 火电机组低压厂变回路从 6kV 厂用工作段母线引接，该母线短路电流周期分量起始值为 28kA。低压厂变为油浸自冷式三相变压器，参数为： $S_e = 1000 \text{ kVA}$, $U_e = 6.3/0.4 \text{ kV}$, 阻抗电压 $U_d = 4.5\%$, 接线组别 Dyn11, 额定负载的负载损耗 $P_d = 10 \text{ kW}$ 。DL₁ 为 6kV 真空断路器，开断时间为 60ms；DL₂ 为 0.4kV 空气断路器。该变压器高压侧至 6kV 开关柜用电缆连接；低压侧至 0.4kV 开关柜用硬导体连接，该段硬导体每相阻抗为 $Z_m = (0.15 + j0.4) \text{ m}\Omega$ ；中性点直接接地。低压厂变设主保护和后备保护，主保护动作时间为 20ms，后备保护动作时间为 300ms。低压厂变回路接线及布置如图 3-3 所示，请解答下列各小题（计算题按最接近数值选项）。(2011)

(1) 若 0.4kV 开关柜内的电阻忽略，计算空气断路器 DL₂ 的 PC 母线侧短路时，流过该断路器的三相短路电流周期分量起始有效值最接近下列哪项数值？（变压器相关阻抗按照《电力工程电气设计手册 电气一次部分》计算）

- (A) 32.08kA
- (B) 30.30kA
- (C) 27.00kA
- (D) 29.61kA

答案：[A]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 4.10 节 380V 厂用电系统短路电流计算有关公式计算。

根据公式 (4-59)、公式 (4-60) 有

$$X_* = \frac{U_p^2}{S_{ed}} = \frac{0.4^2}{\sqrt{3} \times 6.3 \times 28} \times 10^3 \text{ m}\Omega = 0.524 \text{ m}\Omega$$

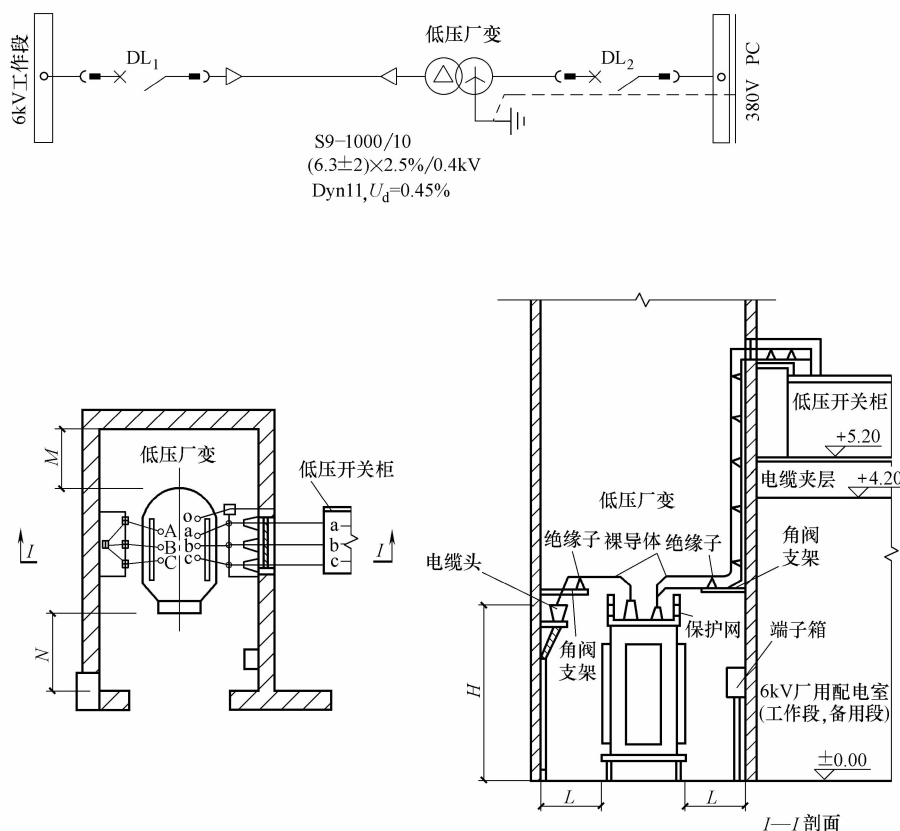


图 3-3 低压厂变回路接线及布置

变压器阻抗:

$$U_b \% = \frac{P_d}{10S_e} = \frac{10000}{10 \times 1000} = 1$$

$$U_x \% = \sqrt{(U_d \%)^2 - (U_b \%)^2} = 4.387$$

$$X_b = \frac{10 \times U_x \% \times U_e^2}{S_e} \times 10^3 \text{ m}\Omega = 7.02 \text{ m}\Omega$$

$$R_b = \frac{P_d U_e^2}{S_e^2} \times 10^3 \text{ m}\Omega = 1.6 \text{ m}\Omega$$

根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (4-68) 或者《火力发电厂厂用电设计技术规定》(DL/T 5153—2002) 附录 N 中 380V 动力中心短路电流实用计算法式 (N1)、式 (N2)、式 (N3) 有

$$I''_B = \frac{U}{\sqrt{3} \times \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times \sqrt{(1.6 + 0.15)^2 + (7.02 + 0.4 + 0.524)^2}} \text{ kA} = 28.39 \text{ kA}$$

$$I''_D = 3.7 \times 10^{-3} I_{e.B} = 3.7 \times 10^{-3} \times \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} \text{ kA} = 5.3 \text{ kA}$$

$$I'' = I''_B + I''_D = (28.39 + 5.3) \text{ kA} = 33.69 \text{ kA}$$

(一) 三相短路电流周期分量的计算

$$\left. \begin{aligned} I^{(3)''} &= I_B^{(3)''} + I_D^{(3)''} \\ I_B^{(3)''} &= \frac{U}{\sqrt{3}Z_{\Sigma}} = \frac{U}{\sqrt{3}\sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} \\ I_D^{(3)''} &= 3.7 \times 10^{-3} I_{e,B} \end{aligned} \right\} \quad (4-68)$$

式中 $I^{(3)''}$ ——为三相短路电流周期分量的起始有效值 (kA)；

$I_B^{(3)''}$ ——为变压器短路电流周期分量的起始有效值 (kA)；

$I_D^{(3)''}$ ——电动机反馈电流周期分量的起始有效值 (kA)；

U ——变压器低压侧线电压 (V)，取 400V；

R_{Σ} 、 X_{Σ} ——每相回路的总电阻和总电抗 (mΩ)；

$I_{e,B}$ ——变压器低压侧的额定电流 (A)。

附录 N 中 380V 动力中心短路电流实用计算法 (N1)、式 (N2)、式 (N3) 为

$$I'' = I_B'' + I_D'' \quad (N1)$$

$$I_B'' = \frac{U}{\sqrt{3}\sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} \quad (N2)$$

$$I_D'' = 3.7 \times 10^{-3} I_{e,B} \quad (N3)$$

式中 I'' ——为三相短路电流周期分量的起始有效值 (kA)；

I_B'' ——为变压器短路电流周期分量的起始有效值 (kA)；

I_D'' ——电动机反馈电流周期分量的起始有效值 (kA)；

U ——变压器低压侧线电压 (V)，取 400V；

R_{Σ} 、 X_{Σ} ——每相回路的总电阻和总电抗 (mΩ)；

$I_{e,B}$ ——变压器低压侧的额定电流 (A)。

(2) 已知环境温度 40℃，电缆热稳定系数 $C=140$ 。试计算该变压器回路 6kV 交联聚乙烯铜芯电缆的最小截面为 ()。

(A) $3 \times 120\text{mm}^2$ (B) $3 \times 95\text{mm}^2$

(C) $3 \times 70\text{mm}^2$ (D) $3 \times 50\text{mm}^2$

 答案：[A]

 解答过程：根据《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 附录 E 式 (E. 1. 1-1) 有

$$S \geq \frac{\sqrt{Q}}{C} \times 10^3 = \frac{\sqrt{I^2 t}}{C} \times 10^3 = \frac{\sqrt{28^2 \times (0.3 + 0.06)}}{140} \times 10^3 \text{mm}^2 = 120\text{mm}^2$$

 分析：本题的难点在于确定短路电流的持续时间。根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 5.0.13 条规定：“对导体（不包括电缆）宜采用主保护动作时间加相应断路器开断时间。主保护有死区时，可采用能对该死区起作用的后备保护动作时间，并采用相应处的短路电流值；对电器，宜采用后备保护动作时间加相应断路器的开断时间。”根据以上规定可知，对电缆而言，短路电流持续时间应该取后备保护动作时间加断路器开断时间。

(3) 下列变压器保护配置方案符合规程的为哪项？为什么？

- (A) 电流速断 + 瓦斯 + 过电流 + 单相接地 + 温度
- (B) 纵联差动 + 电流速断 + 瓦斯 + 过电流 + 单相接地
- (C) 电流速断 + 过电流 + 单相接地 + 温度
- (D) 电流速断 + 瓦斯 + 过电流 + 单相接地

答案：[D]

解答过程：根据《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）第 9.5 条规定：低压厂用变压器应装设下列保护：①纵联差动保护；②电流速断保护；③瓦斯保护；④过电流保护；⑤单相接地短路保护；⑥单相接地保护；⑦温度保护。纵联差动保护只用于容量大于 2MVA 的变压器，本题中变压器容量为 1MVA，故不采用纵联差动保护。温度保护用于 400kVA 及以上的干式变压器，本题中的变压器为油浸自冷式三相变压器，也不用采用温度保护。

(4) 请根据变压器布置图，在下列选项中选出正确的 H 、 L 、 M 、 N 值，并说明理由。

- (A) $H \geq 2500\text{mm}$ ， $L \geq 600\text{mm}$ ， $M \geq 600\text{mm}$ ， $N \geq 800\text{mm}$
- (B) $H \geq 2300\text{mm}$ ， $L \geq 600\text{mm}$ ， $M \geq 600\text{mm}$ ， $N \geq 800\text{mm}$
- (C) $H \geq 2300\text{mm}$ ， $L \geq 800\text{mm}$ ， $M \geq 800\text{mm}$ ， $N \geq 1000\text{mm}$
- (D) $H \geq 1900\text{mm}$ ， $L \geq 800\text{mm}$ ， $M \geq 1000\text{mm}$ ， $N \geq 1200\text{mm}$

答案：[A]

解答过程：根据《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）表 8.1.3， H 值应为无遮拦裸导体至地（楼）面之间的距离，对 6kV 系统取 2500mm。 M 为室内油浸变压器外廓与变压器四壁的最小净距， N 为变压器与门之间的最小净距，根据表 8.3.6， M 、 N 分别取 600mm 和 800mm。 L 与 M 值相同。

表 8.3.6 室内油浸变压器外廓与变压器四壁的最小净距 mm

变压器容量	1000kVA 及以下	1250kVA 及以上
变压器与后壁、侧壁之间	600	800
变压器与门之间	800	1000

题 3：某新建电厂一期安装两台 300MW 机组，机组采用发电机—变压器组单元接线接入厂内 220kV 配电装置，220kV 采用双母线接线，有二回负荷线和二回联络线。按照最终规划容量计算的 220kV 母线三相短路电流（起始周期分量有效值）为 30kA，动稳定电流为 81kA；高压厂用变压器为一台 50/25-25MVA 的分裂变，半穿越电抗 $U_d = 16.5\%$ ，高压厂用母线电压为 6.3kV。请按各小题假设条件回答下列问题。（2011）

(1) 本工程选用了 220kV SF6 断路器，其热稳定电流为 40kA、3s，负荷线的短路持续时间为 2s。试计算此回路断路器承受的最大热效应是下列哪项值？（不考虑周期分量有效值电流衰减）

- (A) $1800\text{kA}^2 \cdot \text{s}$ (B) $1872\text{kA}^2 \cdot \text{s}$ (C) $1890\text{kA}^2 \cdot \text{s}$ (D) $1980\text{kA}^2 \cdot \text{s}$

答案: [C]

解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 式 (F.6.2) 有

短路电流周期分量热效应:

$$Q_z = \frac{(I''^2 + 10I_{z1/2}''^2 + I_{z1}''^2)}{12} t = I''^2 t = 30^2 \times 2\text{kA}^2 \cdot \text{s} = 1800\text{kA}^2 \cdot \text{s}$$

短路持续时间远大于 0.1s , 短路电流非周期分量热效按式 (F.6.3) 的简化工程计算法计算如下:

$$Q_f = TI''^2 = 0.1 \times 30^2 \text{kA}^2 \cdot \text{s} = 90\text{kA}^2 \cdot \text{s}$$

$$Q = Q_z + Q_f = (1800 + 90) \text{kA}^2 \cdot \text{s} = 1890\text{kA}^2 \cdot \text{s}$$

故本题答案应该为 C。

其中短路电流周期分量热效应 Q_z 计算式式 (F.6.2) 为

$$Q_z = \frac{I''^2 + 10I_{z1/2}''^2 + I_{z1}''^2}{12} t$$

式中, $I_{z1/2}''$ 为短路电流在时的周期分量有效值, kA

当为多分支向短路点攻击短路电流时, I'' 、 $I_{z1/2}''$ 和 I_{z1}'' 分别为各个支路短路电力之和。

短路电流分周期分量热效应 Q_f 计算式式 (F.6.3) 为

$$Q_f = \frac{T_a}{\omega} \left(1 - e^{-\frac{2\omega t}{T_a}} \right) I''^2 = TI''^2$$

式中, T 为等效时间 (s), 为简化工程计算, 可查表而得。

(2) 发电机额定电压为 **20kV**, 中性点采用消弧线圈接地, **20kV** 系统每相对地电容为 **0.45 μF** , 消弧线圈的补偿容量应选择下列哪项数值? (过补偿系数 K 取 **1.35**, 欠补偿系数 K 取 **0.8**)

- (A) 26.1kVA (B) 45.17kVA (C) 76.22kVA (D) 78.24kVA

答案: [B]

解答过程: 1) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 18.1.4 条及式 (18.1.4) 有

$$Q = KI_C \frac{U_N}{\sqrt{3}}$$

式中, $I_C = \sqrt{3}U_e \omega C \times 10^{-3} = \sqrt{3} \times 20 \times 2\pi \times 50 \times 0.45 \times 10^{-3} \text{A} = 4.9\text{A}$ 。

2) 根据第 18.1.6 条, 采用欠补偿, 故有

$$Q = KI_C \frac{U_N}{\sqrt{3}} = 0.8 \times 4.9 \times \frac{20}{\sqrt{3}} \text{kVA} = 45.26\text{kVA}$$

(3) 每台机 **6.3kV** 母线分为 A、B 二段, 每段接有 **6kV** 电动机总容量为 **18MW**, 当母线发生三相短路时, 其短路电流周期分量的起始值为下列哪项数值? (设系统阻抗为 **0**, K_{qd} 取 **5.5**)

- (A) 27.76kA (B) 30.84kA (C) 39.66kA (D) 42.74kA

答案: [D]

► 解答过程：根据《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）附录 M 式（M4）：

$$X_T = \frac{0.9 U_d \%}{100} \times \frac{S_j}{S_{e.B}} = \frac{0.9 \times 16.5}{100} \times \frac{100}{50} = 0.297$$

$$I_B'' = \frac{I_j}{X_X + X_T} = \frac{9.16}{0.297} \text{ kA} = 30.84 \text{ kA}$$

$$I_D'' = K_{qD} \frac{P_{e.D}}{\sqrt{3} U_{e.D} \eta_D \cos \varphi_D} \times 10^{-3} = 5.5 \times \frac{18000}{\sqrt{3} \times 6 \times 0.8} \times 10^{-3} \text{ kA} = 11.91 \text{ kA}$$

$$I'' = I_B'' + I_D'' = (30.84 + 11.91) \text{ kA} = 42.75 \text{ kA}$$

(4) 发电机额定功率因数为 0.85，最大连续输出容量为额定容量的 1.08 倍，高压工作变压器的计算容量按选择高压工作变压器容量的方法计算出的负荷为 46MVA，按估算厂用电率的原则和方法所确定的厂用电计算负荷为 42MVA，试计算并选择主变压器容量最小是下列哪项数值？

(A) 311MVA (B) 315MVA (C) 335MVA (D) 339MVA

► 答案：[D]

► 解答过程：解法 1：根据《火力发电厂设计技术规程》（DL 5000—2000）第 13.1.5 条：“容量为 200MW 及以上的发电机与主变压器为单元连接时，该变压器的容量可按发电机的最大连续容量扣除一台厂用工作变压器的计算负荷和变压器绕组的平均温升在标准环境温度或冷却温度下不超过 65℃ 的条件进行选择”，故有

$$S_{\max} = 1.08 \times \frac{P}{\cos \varphi} - 42 = \left(1.08 \times \frac{300}{0.85} - 42 \right) \text{ MVA} = 339.2 \text{ MVA}$$

（根据条文说明第 13.1.5 条：扣除厂用工作变压器的计算负荷是指以估算厂用电率的原则和方法所确定的厂用电计算负荷）。

解法 2：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 5-1 节。有关主变压器容量和台数的有关规定：

发电机与主电压器为单元接线时，主变压器的容量可按下列条件中较大者选择：

(1) 按发电机的额定容量扣除本机组的常用负荷后，留有 10% 的裕度。

(2) 按发电机的最大连续输出容量和扣除本机组的厂用负荷。

当采用扩大单元接线时，应采用分裂绕组变压器，其容量用等于按上述 (1) 和 (2) 算出的两台机容量之和。

因此，发电机与主变压器为单元连接时，主变压器的容量可按上述条件中的较大者选择：

1) 按发电机额定容量扣除本机组的厂用负荷后，留有 10% 的裕度。

$$S = 1.1 \times \left(\frac{P}{\cos \varphi} - 42 \right) = 1.1 \times \left(\frac{300}{0.85} - 42 \right) \text{ MVA} = 342 \text{ MVA}$$

2) 对单元接线的主变压器按发电机的最大连续输出容量扣除本机组的厂用负荷。

$$S_{\max} = 1.08 \times \frac{P}{\cos \varphi} = 1.08 \times \frac{300}{0.85} \text{ MVA} = 381.18 \text{ MVA}$$

扣除厂用负荷后为

$$S = S_{\max} - 42 = (381.18 - 42) \text{ MVA} \approx 339.18 \text{ MVA}$$

本题选择的是最小容量，故选 D。

(5) 假定 220kV 高压厂用公用/备用变压器容量为 50/25-25MVA，其 220kV 架空导线宜选用下列哪一种规格？（经济电流密度按 0.4A/mm² 计算）

- (A) LGJ-185 (B) LGJ-240 (C) LGJ-300 (D) LGJ-400

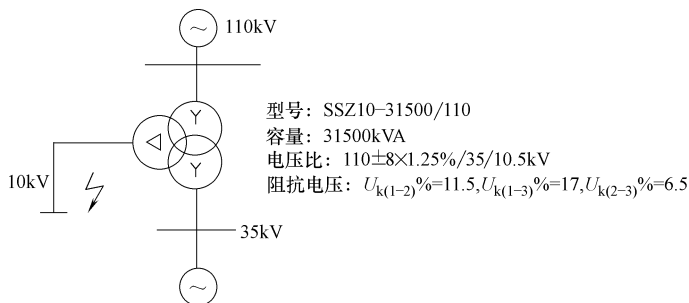
答案：[C]

解答过程：高压厂用变压器高压侧母线持续工作电流为

$$I_g = \frac{1.05S}{\sqrt{3}U_N} = \frac{1.05 \times 50 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220} \text{ A} = 138 \text{ A}$$

$$S = \frac{I_g}{j} = \frac{138}{0.4} \text{ mm}^2 = 345 \text{ mm}^2$$

题 4：某 110kV 变电站有 110kV、35kV、10kV 三个电压等级，设一台三相三卷变压器，系统接线如图所示，主变 110kV 中性点采用直接接地，35kV、10kV 中性点采用消弧线圈接地（10kV 侧无电源，且不考虑电动机的反馈电流）。请回答下列问题，并列解答过程。（供配电 2012）



(1) 假定该变电站 110kV、35kV 系统阻抗标幺值分别为 0.025 和 0.12，请问该变电站 10kV 母线最大三相短路电流为下列哪一项？

（已知 $S_j = 100 \text{ MVA}$ ， $U_{j110} = 115 \text{ kV}$ ， $U_{j35} = 37 \text{ kV}$ ， $U_{j10} = 10.5 \text{ kV}$ ）

- (A) 9.74kA (B) 17.00kA (C) 18.95kA (D) 21.12kA

答案：[C]

解答过程：因变压器是三绕组变压器，因此先算出变压器各绕组的电抗。

$$U_{k1} \% = \frac{1}{2} (U_{k(1-2)} \% + U_{k(3-1)} \% - U_{k(2-3)} \%) = \frac{1}{2} \times (11.5 + 17 - 6.5) = 11$$

$$U_{k2} \% = \frac{1}{2} (U_{k(1-2)} \% + U_{k(2-3)} \% - U_{k(3-1)} \%) = \frac{1}{2} \times (11.5 + 6.5 - 17) = 0.5$$

$$U_{k3} \% = \frac{1}{2} (U_{k(2-3)} \% + U_{k(3-1)} \% - U_{k(1-2)} \%) = \frac{1}{2} \times (6.5 + 17 - 11.5) = 6$$

$$X_1 = \frac{U_{k1} \% S_j}{100 S_e} = \frac{11}{100} \times \frac{100}{31.5} = 0.3492$$

$$X_2 = \frac{U_{k2} \% S_j}{100 S_e} = \frac{0.5}{100} \times \frac{100}{31.5} = 0.0159$$

$$X_3 = \frac{U_{k3} \% S_j}{100 S_e} = \frac{6}{100} \times \frac{100}{31.5} = 0.1905$$

$$X_{\text{总}} = X_3 + (X_1 + X_{\text{系统110kV侧}}) // (X_2 + X_{\text{系统35kV侧}}) = 0.1905 + \frac{(0.3492 + 0.025)(0.0159 + 0.12)}{0.3492 + 0.025 + 0.0159 + 0.12} \approx 0.29$$

本题应该按无穷大系统来考虑, 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式(4-20)有:

$$I'' = \frac{I_j}{X_{\text{总}}} = \frac{1}{0.29} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 10.5} \text{ kA} = 18.96 \text{ kA}, \text{ 系统电抗图如图 3-4 所示。}$$

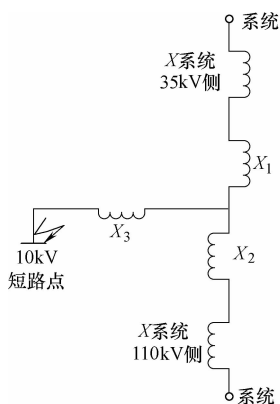


图 3-4 系统电抗图

(2) 该变电站 10kV 母线共接有 16 回 10kV 线, 其中: 架空线 12 回, 每回线路长约 6km, 单回路架设, 无架空地线, 电缆线路 4 回, 每回线路长度约 3km, 采用标称截面积为 150 mm^2 三芯电缆, 问该变电站 10kV 线路的单相接地电容电流为下列哪一项? (要求精确计算并保留小数点后三位数)

- (A) 18.646kA (B) 19.078kA (C) 22.112kA (D) 22.544kA

答案: [A]

解答过程: 1) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》3-5 式可得 10kV 架空线路提供的电容电流为: $I_c = 0.025 \text{ A/km}$ 。本题中架空线路共 12 回, 每回 6km, 则总的电容电流为 $I_{c1} = 12 \times 6 \times 0.025 \text{ A} = 1.8 \text{ A}$ 。架空线路提供的单相短路电容电流也可由 6-33 式求得:

$$I_{c1} = 2.7 \times U_r L \times 10^{-3} \text{ A} = 1.944 \text{ A}$$

2) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》3-3 式可得 10kV 电缆线路提供的电容电流为: $I_c = \frac{95 + 1.44S}{2200 + 0.23S} U_r$ 。本题中电缆线路共 4 回, 每回 3km, 则总的电容电流为

$$I_{c2} = \frac{95 + 1.44S}{2200 + 0.23S} U_r L = \frac{95 + 1.44 \times 150}{2200 + 0.23 \times 150} \times 10 \times 4 \times 3 \text{ A} = 16.7 \text{ A}。$$

也可由 6-34 式求得 $I_{c2} = 0.1 U_r L = 0.1 \times 10 \times 4 \times 3 \text{ A} = 12 \text{ A}$

3) 总的电容电流为: $I_c = I_{c1} + I_{c2} = 1.8 \text{ A} + 16.7 \text{ A} = 18.5 \text{ A}$ 。

分析: 本题求的是该变电站 10kV 线路的单相接地电容电流, 不应计入变电所增加的接地电容电流。

(3) 假定该变电站 10kV 母线三相短路电流为 29.5kA, 现需将本站 10kV 母线三相短路电流限制到 20kA 以下, 拟采用在变压器 10kA 侧串联限流电抗器的方式, 已知限流电抗器额定电压 10kV, 额定电流 2000A。该限流电抗器电抗率最下应为下列哪一项?

- (A) 3% (B) 4%
(C) 5% (D) 6%

答案: [B]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》(6-14) 式有

$$x_k \% \geq \left(\frac{I_j}{I''} - x_{*j} \right) \frac{I_{ek} U_j}{U_{ek} I_j} \times 100 \%$$

因电抗器未选出, 先要估算电源至短路点的总电抗标么值为

$$x_{*j} = \frac{I_j}{I''} = \frac{5.5}{29.5} = 0.1864$$

已知 $U_j = 10.5 \text{ kV}$, $I_j = 5.5 \text{ kA}$, $I_{ek} = 2 \text{ kA}$, $U_{ek} = 10 \text{ kV}$, 代入以上已知量可得

$$x_k \% \geq \left(\frac{5.5}{20} - 0.1864 \right) \times \frac{10.5 \times 2}{10 \times 5.5} \times 100 \% = 3.38 \%$$

分析: 本题重点在搞清楚公式中的每一个变量的取值, 这个知识点多次出题。

(4) 该变电站某 10kV 出线采用真空断路器作为开断电器, 假定 110kV、35kV 母线均接入无限大电源系统。10kV 母线三相短路电流初始值为 18.5kA, 对该断路器按动稳定条件校验, 断路器额定峰值耐受电流应为下列哪一项?

- (A) 40kA (B) 50kA
(C) 63kA (D) 80kA

答案: [B]

解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 公式 (F.4.1-1) 及表 F.4.1, 本题短路点在 10kV 侧, 故按远离发电厂计算有:

$$i_{ch} = \sqrt{2} K_{ch} I'' = \sqrt{2} \times 1.8 \times 18.5 \text{ kA} = 47 \text{ kA}, \text{取 } 50 \text{ kA}。$$

分析: 断路器的需要进行热稳定和动稳定。其中热稳定是指在发生短路时, 断路器在短路电流的作用下, 会发热并产生很高的温度, 如果超过该设备允许的最高温度, 断路器就会被烧毁。故热稳定校验是以通过设备的稳态短路电流来校验的。而动稳定则指当断路器流过冲击短路电流时, 将产生很大的作用力, 如果大于断路器所能承受的作用力, 则断路器将遭到破坏, 因此动稳定电流是指短路时流过的短路冲击电流来校验的。

(5) 变电站 10kV 出线选用的电流互感器有关参数如下：型号：LZZB9-10，额定电流 200A，短时耐受电流 24.5kA，短时耐受时间 1s，峰值耐受电流 60kA。当 110kV、35kV 母线均接入无限大电源系统，10kV 线路三相短路电流持续时间为 1.2s 时，所选用电流互感器热稳定允许通过的三相短路电流有效值是下列哪项数值？

- (A) 19.4kA (B) 22.4kA
(C) 63kA (D) 80kA

答案：[B]

解答过程：《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 公式(F.6.1) ~ 公式(F.6.3) 及表 F.6.3 有：

周期分量的热效应： $Q_z = I''^2 t = 1.2 I''^2$

非周期分量引起的热效应： $Q_f = T I''^2 = 0.05 I''^2$

总的热效应为 $Q = Q_z + Q_f = 1.25 I''^2 \leq 24.5^2 \times 1 \text{kA}^2 \cdot \text{s} = 600.25 \text{kA} \cdot \text{s}$

从而有： $I \leq \sqrt{600.25/1.25} \text{kA} \approx 21.9 \text{kA}$

由此，如不考虑非周期分量所产生的热效应，则刚好为 B 答案。

题 5：一座 35kV 变电所，有两回 35kV 进线，装有两台 35、10kV，5000kVA 变压器，35kV 母线和 10kV 母线均采用单母线分段接线方式，有关参数如图所示，继电保护装置由电流互感器，DL 型电流继电器、时间继电器组成，可靠系数 1.2，接线系数 1，继电保护返回系数 0.85，请回答下列问题，并列解答过程。(供配电 2012)

(1) 已知图中 10、0.4kV 800kVA 变压器高压侧短路容量 200MVA、变压器短路损耗 7.5kW，低压侧 0.4kV 母线上三相短路电流和两相短路电流稳态值为下列哪一项？(低压侧母线段阻抗忽略不计)

- (A) 22.39kA 19.39kA (B) 23.47kA 20.33kA
(C) 25.55kA 22.13kA (D) 287.5kA 248.98kA

答案：[B]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》公式 4-59、4-60 有：

$$X_* = \frac{U_p^2}{S_{ed}} = \frac{0.4^2}{200} \times 10^3 \text{m}\Omega = 0.8 \text{m}\Omega$$

变压器阻抗：

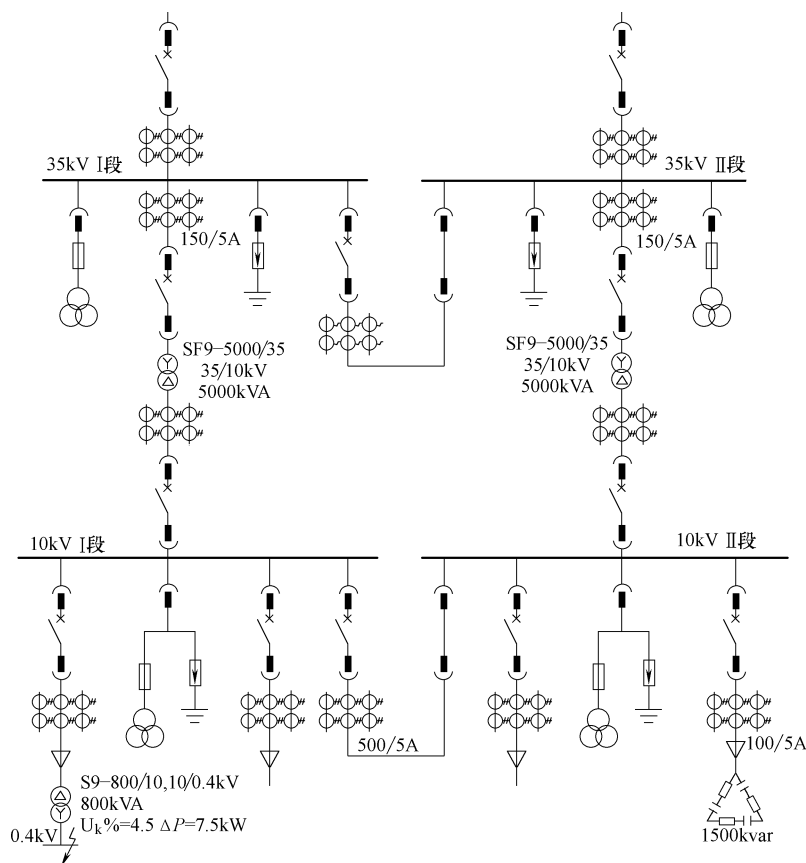
$$U_b \% = \frac{P_d}{10 S_e} = \frac{7500}{10 \times 800} = 0.9375$$

$$U_x \% = \sqrt{(U_d \%)^2 - (U_b \%)^2} = \sqrt{4.5^2 - 0.9375^2} = 4.4$$

$$X_b = \frac{10 \times U_x \% \times U_e^2}{S_e} \times 10^3 \text{m}\Omega = \frac{10 \times 4.4 \times 0.4^2}{800} \times 10^3 \text{m}\Omega = 8.8 \text{m}\Omega$$

$$R_b = \frac{P_d \times U_e^2}{S_e^2} = \frac{7500 \times 0.4^2}{800^2} \times 10^3 \text{m}\Omega = 1.875 \text{m}\Omega$$

根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式(4-68)或者《火力发电厂厂用电



变配电所电气接线简图

设计技术规定》（DL/T 5153—2002）附录 N 中 380V 动力中心短路电流实用计算公式（N1）、式（N2）、式（N3）有

$$I''_B = \frac{U}{\sqrt{3} \times \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times \sqrt{1.875^2 + (8.8 + 0.8)^2}} \text{ kA} = 23.6 \text{ kA}$$

本题不考虑电动机反馈电流，根据式（4-69）有

$$I^{(2)''} = 0.87 I^{(3)''} = 0.87 \times 23.6 \text{ kA} = 20.53 \text{ kA}$$

分析：对三相短路电流的周期分量起始值，本题通过查表 4-28 也可以直接得到答案。

(2) 若该变电所两台 35/10kV 主变压器采用并联运行方式，当过电流保护时限大于 0.5s，电流速断保护能满足灵敏性要求时，在正常情况下主变压器的继电保护配置中下列哪一项可不装设？并说明其理由。

- (A) 带时限的过电流保护 (B) 电流速断保护
(C) 纵联差动保护 (D) 过负荷保护

答案：[C]

解答过程：根据《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》（GB 50062—2008）第 4.0.3 条。

4.0.3 对变压器引出线、套管及内部的短路故障，应装设下列保护作为主保护，且应瞬间动作于断开变压器的各侧断路器，并应符合下列规定：

1 电压为 10kV 及以下、容量为 10MVA 以下单独运行的变压器，应装设电流速断保护。

2 电压为 10kV 以上、容量为 10MVA 及以上单独运行的变压器，以及容量为 6.3MVA 及以上并列运行的变压器，应采用纵联差动保护。

3 容量为 10MVA 以下单独运行的重要变压器，可装设纵联差动保护。

4 电压为 10kV 的重要变压器或容量为 2MVA 及以上的变压器，当电流速断保护灵敏度不符合要求时，宜采用纵联差动保护。

5 容量为 0.4MVA 及以上、一次电压为 10kV 及以下，且绕组为三角-星形连接的变压器，可采用两相三继电器式的电流速断保护。

本题中，变压器容量为 5MVA，且为并列运行，电流速断保护灵敏度满足要求，根据第 4 项，选 C，纵联差动可以不装设。

题 6：某工厂拟建一座 110kV 终端变电站，电压等级为 110/10kV，由两路独立的 110kV 电源供电。预计一级负荷 10MW，二级负荷 35MW，三级负荷 10MW。站内设两台主变压器，接线组别 YNd11。110kV 采用 SF₆ 断路器，110kV 母线正常运行方式为分列运行。110kV 侧采用单母线分段接线，每段母线上电缆出线 8 回，平均长度 4 公里。未补偿前工厂内负荷功率因数为 86%，当地电力部门要求功率因数达到 96%。请解答以下问题：（2013）

(1) 说明该变电站主变压器容量的选择原则和依据，并通过计算确定主变压器的计算容量和选取的变压器容量最小值应为下列哪组数值？

- (A) 计算值 34MVA，选 40MVA (B) 计算值 45MVA，选 50MVA
(C) 计算值 47MVA，选 50MVA (D) 计算值 53MVA，选 63MVA

答案：[C]

依据：根据《35~110kV 变电所设计规范》（GB/T 50059—2011）第 3.1.3 条：装有两台及以上主变压器的变电站，当断开一台主变压器时，其余主变压器的容量（包括过负荷能力）应满足全部一、二级负荷的要求。

补偿前功率因数为 0.86，补偿前容量为

$$S_e \geq \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{(10 + 35)}{0.86} \text{MVA} \approx 53 \text{MVA}$$

补偿后功率因数达到 0.96，补偿后的容量为

$$S_e \geq \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{(10 + 35)}{0.96} \text{MVA} \approx 47 \text{MVA}$$

本题要求选择变压器容量最小值，故应按补偿后的容量进行选择，这也是电力部门的最低要求。

分析：（1）根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 5-1 节第二条第 1 款第（2）点规定：主变压器的容量选择应根据变电所所带负荷的性质和电网结构来确定主变

(2) 假如主变压器容量 63MVA, $U_d\% = 16$, 空载电流为 1%。请计算确定全站 10kV 侧需要补偿的最大容性无功容量应为下列哪项数值?

- (A) 8966kvar (B) 16500kvar
(C) 34432kvar (D) 37800kvar

答案: [C]

依据: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》公式 (9-1), 负荷所需补偿的最大容性无功量计算式为:

$$Q_{cf.m} = P_{fm} Q_{ef} = 55 \times 0.3 \text{MVA} = 16.5 \text{MVA}$$

根据公式 (9-2), 主变压器的最大容性无功量计算式为:

$$Q_{CB.m} = \left(\frac{u_d\%}{100} \frac{I_m^2}{I_n^2} + \frac{I_0\%}{100} \right) S_e = \left(\frac{16}{100} \times \frac{0.86^2}{0.96^2} + \frac{1}{100} \right) \times 63 \text{MVA} \approx 8.719 \text{MVA}$$

本题是计算全站 10kV 侧所需的最大补偿容量, 变压器应该算两台, 故总的补偿容量为

$$Q = Q_{cf.m} + 2Q_{CB.m} = (16.5 + 2 \times 8.719) \text{MVA} = 33.938 \text{MVA}$$

分析: 手册指出, 对于直接供电的末端变(配)电所, 安装的最大容性无功量应等于装置所在母线上的负荷按提高功率因数所需补偿的最大容性无功量与主变压器所需补偿的最大容性无功量之和。

(3) 若该变电站 10kV 系统中性点采用消弧线圈接地方式, 试分析计算其安装位置和补偿容量计算值应为下列哪一选项? (请考虑出线和变电站两项因素)

- (A) 在主变压器 10kV 中性点接入消弧线圈, 其计算容量为 249kVA
(B) 在主变压器 10kV 中性点接入消弧线圈, 其计算容量为 289kVA
(C) 在 10kV 母线上接入接地变压器和消弧线圈, 其计算容量为 249kVA
(D) 在 10kV 母线上接入接地变压器和消弧线圈, 其计算容量为 289kVA

答案: [D]

依据: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》公式 (6-32), 消弧线圈的补偿容量, 一般按下式计算:

$$Q = KI_c \frac{U_N}{\sqrt{3}} = 1.35 \times 37.13 \times \frac{10}{\sqrt{3}} \text{kvar} \approx 289.32 \text{kvar}$$

其中 I_c 的计算考虑电缆出线式 (6-34) 和变压器所增加的接地电容电流, 有:

$$I_c = 0.1 U_T L = 0.1 \times 10 \times 8 \times 4 \times (1 + 16\%) \text{kA} = 37.13 \text{kA}$$

根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 18.1.6 条, “装在电网的变压器中性点的消弧线圈, 以及具有直配线的发电机中性点的消弧线圈应采用过补偿”, 故 $K = 1.35$ 。又根据 18.1.8 条第 5 款规定, “如变压器无中性点或中性点未引出, 应装设容

量相当的专用接地变压器，接地变压器可与消弧线圈采用相同的额定工作时间。”因变压器为 YNd11，10kV 侧无中性点，因而需要装设专用的接地变压器，接地变压器容量应和消弧线圈的容量一致。综上所述，本题的答案为 D。

► 分析：消弧线圈的容量计算经常出题，应把《电力工程电气设计手册 电气一次部分》6.9 节第一条和《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 18.1 条结合起来，涉及到电网和发电机电容电流 I_c 的计算，应参考《电力工程电气设计手册 电气一次部分》6.9 节第一条。

题 7：某新建 110/10kV 变电站设有 2 台主变，单侧电源供电。110kV 采用单母分段接线，两段母线分列运行。2 路电源进线分别为 L1 和 L2，两路负荷出线分别为 L3 和 L4，L1 和 L3 接在 1#母线上。110kV 电源来自某 220kV 变电站 110kV 母线，其 110kV 母线最大运行方式下三相短路电流 20kA，最小运行方式下三相短路电流为 18kA。本站 10kV 母线最大运行方式下三相短路电流为 23kA。线路 L1 阻抗为 1.8Ω ，线路 L3 阻抗为 0.9Ω 。（2013）

(1) 请计算 1#母线最大短路电流时下列哪项数值？

- (A) 10.91kA (B) 11.95kA
(C) 12.87kA (D) 20kA

► 答案：[C]

► 依据：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》公式（4-10）可得最大运行方式下系统的组合电抗标么值为

$$X_* = \frac{S_j}{S_d'} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 115 \times 20} = 0.025$$

根据公式（4-7），线路 L1 的阻抗化成标么值为

$$X_{L1} = X \frac{S_j}{U_j^2} = 1.8 \times \frac{100}{115^2} \approx 0.014$$

根据公式（4-20），1#母线最大短路电流为

$$I'' = \frac{I_j}{X_* + X_{L1}} = \frac{1}{0.025 + 0.014} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 115} \text{ kA} \approx 12.87 \text{ kA}$$

(2) 请计算在最大运行方式下，线路 L3 末端三相短路时，流过线路 L1 的短路电流是下列哪项数值？

- (A) 10.24kA (B) 10.91kA
(C) 12.87kA (D) 15.69kA

► 答案：[B]

► 依据：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》公式（4-7）可得最大运行方式下线路 L3 标么值为

$$X_{L3} = X \frac{S_j}{U_j^2} = 0.9 \times \frac{100}{115^2} \approx 0.007$$

根据公式 (4-20)，最大运行方式下，线路 L3 末端短路，流过 L1 最大短路电流为

$$I'' = \frac{I_j}{X_* + X_{L1} + X_{L3}} = \frac{1}{0.025 + 0.014 + 0.007} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 115} \text{ kA} \approx 10.91 \text{ kA}$$

(3) 若采用电流保护作为线路 L1 的相间故障后备保护，请问，校验该后备保护灵敏度采用的短路电流为下列哪项数值？请列出计算过程。

- (A) 8.87kA (B) 10.24kA
(C) 10.91kA (D) 11.95kA

答案：[A]

依据：后备保护应该用最小运行方式下的短路电流值来校验灵敏度。根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》公式 (4-10) 可得最小运行方式下系统的组合电抗标么值为：

$$X_* = \frac{S_j}{S_d} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 115 \times 18} = 0.028$$

根据公式 (4-7)，线路 L1 及 L3 的阻抗化成标么值分别为

$$X_{L1} = X \frac{S_j}{U_j^2} = 1.8 \times \frac{100}{115^2} \approx 0.014, X_{L3} = X \frac{S_j}{U_j^2} = 0.9 \times \frac{100}{115^2} \approx 0.028$$

根据公式 (4-20)，最小运行方式下 L3 末端的短路电流为

$$I^{(3)} = \frac{I_j}{X_* + X_{L1} + X_{L3}} = \frac{1}{0.028 + 0.014 + 0.007} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 115} \text{ kA} \approx 10.24 \text{ kA}$$

故最小运行方式下的相间故障电流为

$$I^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 10.24 \text{ kA} = 8.87 \text{ kA}$$

(4) 已知主变高压侧 CT 电流比为 300/1，线路 CT 电流比为 1200/1。如果主变压器配置差动保护和过电流保护，请计算主变高压侧电流互感器的一次电流倍数最接近下列哪项值？（可靠系数取 1.3）

- (A) 9.06 (B) 21.66
(C) 24.91 (D) 78

答案：[D]

依据：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）F.4.1-1 可得冲击电流为

$$i_{ch} = \sqrt{2} K_{ch} I'' = \sqrt{2} \times 1.8 \times 12.87 \text{ kA} \approx 32.76 \text{ kA}$$

又根据条文说明式 6 有 $K_d \geq \frac{i_{ch}}{\sqrt{2} I_{1n}} = \frac{32.76}{\sqrt{2} \times 0.3} \approx 77.22$ 。

(5) 若安装在线路 L1 电源侧的电流保护作为 L1 线路的主保护，当线路 L1 发生单相接地故障后，请解释说明下列关于线路重合闸表述哪项是正确的？

- (A) 线路 L1 本站侧断路器跳三相重合三相，重合到故障上跳三相。
(B) 线路 L1 电源侧断路器跳三相重合三相，重合到故障上跳三相。

(C) 线路 L3 本站侧断路器跳单相重合单相，重合到故障上跳三相。

(D) 线路 L1 电源侧断路器跳单相重合单相，重合到故障上跳三相。

▶ 答案：[B]

▶ 解答过程：发生根据《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 5.2.4 条，110kV 及以下单侧电源线路的自动重合闸装置，按下列规定装设，即 5.2.4.1 采用三相一次重合闸方式。

▶ 分析：题干已经指出，本变电站为单侧电源供电。

第四章 设备选择

一、大纲要求 ★★★

- 1) 熟悉电气主设备选择的技术条件和环境条件;
- 2) 熟悉发电机、变压器、电抗器、电容器的选择;
- 3) 掌握开关电器和保护电器的选择;
- 4) 掌握电流互感器、电压互感器的选择;
- 5) 熟悉成套电器的选择;
- 6) 掌握高压电瓷及金具的选择;
- 7) 掌握中性点设备的选择;
- 8) 了解发电机励磁系统的选择。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 40 分,其中专业知识占 20 分左右,案例占 20 分左右。考点分散,考试题目有一定难度。答题依据主要有《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第六章和《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)、《水力发电厂机电设计规范》(DL/T 5186—2004)等。重点考查电器设备的选择技术条件和环境条件、各种电器设备的选择等内容。

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

(1) 水电厂以下哪一回路在发电机出口可不装设断路器?(2012)

- (A) 扩大单元回路
- (B) 三绕组变压器
- (C) 抽水蓄能电厂采用发电机侧同期与换相
- (D) 双绕组无载调压变压器

▶ 答案: [D]

▶ 依据:《水力发电厂机电设计规范》(DL/T 5186—2004)第 5.2.4 条。

5.2.4 当发电机—变压器组采用单元接线时,在发电机出口处可只装设隔离开关。

下列各回路在发电机出口处宜装设断路器:

- 1 需要倒送厂用电,或接有公共厂用电变压器且不允许短路停电的单元回路。
- 2 开、停机频繁的调峰电厂,需避免主变压器高压侧接线频繁开环运行的单元回路。

以下各回路在发电机出口处必须装设断路器：

- 1 扩大单元回路。
- 2 联合单元回路（当技术经济上在主变压器高压侧装设断路器的方案更为合理时）。
- 3 三绕组变压器或自耦变压器回路。
- 4 抽水蓄能电厂采用发电机侧同期与换相或接有启动变压器的回路。

(2) 某变电所选用了 400kVA、35/0.4kV 所用变压器，其低压侧进线回路持续工作电流为下列哪个数值？（2012）

- (A) 519A (B) 577A (C) 606A (D) 638A

▶ 答案：[C]

▶ 依据：《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》（DL/T 5155—2002）附录 E 的式（E1）有

$$I_g = 1.05I_e = 1.05 \times \frac{S_e}{\sqrt{3}U_e} = 1.05 \times \frac{400}{\sqrt{3} \times 0.4} \text{A} = 606 \text{A}$$

(3) 某变电所中，有一组双星形接线的 35kV 电容器组，每星的每相有 2 个串联段，每段由 5 台 500kvar 电容器并联组成，此电容器组的总容量为（ ）。(2011)

- (A) 7500kvar (B) 10000kvar (C) 15000kvar (D) 30000kvar

▶ 答案：[D]

▶ 依据：

$$Q = 2 \times 5 \times 3 \times 500 \times 2 \text{kvar} = 30000 \text{kvar}$$

(4) 某 110kV 变电所需要增容扩建，已有一台 7500kVA 110/10.5kV Yd11 的主变压器，下列可以与其并联运行、允许的最大容量是哪一种？（2011）

- (A) 7500kVA, Yd7 (B) 10000kVA, Yd11
(C) 15000kVA, Yd5 (D) 20000kVA, Yd11

▶ 答案：[C]

▶ 依据：《电力变压器选用导则》（GB/T 17468—2008）第 6.1 条。

6.1 并联运行的条件为：

- a) 钟时序数要严格相等；
- b) 电压和电压比要相同，允许偏差也相同（尽量满足电压比在允许偏差范围内），调压范围与每级电压要相同；
- c) 短路阻抗相同，尽量控制在允许偏差范围 $\pm 10\%$ 以内，还应注意极限正分接位置短路阻抗与极限负分接位置短路阻抗要分别相同；
- d) 容量比在 0.5 ~ 2 之间；
- e) 频率相同。

附录 C 变压器并联运行的联结方法应符合如下要求：

- a) 具有相同的相位关系（即在矢量图中，具有相同的钟时序数）的各变压器，可将各自的一次侧和二次侧同符号标志端子连接在一起，作并联运行；
- b) 若钟时序数不同，从变压器并联运行可靠性看，有如下联结方法：
- 组 1：钟时序数为 0、4 和 8，
- 组 2：钟时序数为 6、10 和 2，
- 组 3：钟时序数为 1 和 5，
- 组 4：钟时序数为 7 和 11；
- c) 在实际平衡负载条件下，属于同组的两台变压器可并联运行；
- d) 如果一台变压器的相序与另一台刚好相反，则组 3 中的变压器与组 4 中的变压器并联运行，如图 C.2；
- e) 不同组的两台变压器是不能并联运行的。如：
- 组 1 与组 2 或组 3 与组 4；
- 组 2 与组 1 或组 3 与组 4；
- 组 3 与组 1 或组 2；
- 组 4 与组 1 或组 2。

对于 D 答案，容量比已经超出 2，故可首先排除。根据附录 C 第 d) 条，“如果一台变压器的相序与另一台刚好相反，则组 3 中的变压器与组 4 中的变压器并联运行，如图 C.2。”在图 C.2 中，Yd5 和 Yd11 可以并联运行。故选 C 为答案，即可并联运行，容量比为 2，不超过 2，且容量最大。

(5) 某滨海电厂，当地盐密度为 $0.21\text{mg}/\text{cm}^2$ ，厂中 220kV 户外电气设备瓷套的爬电距离应不小于（ ）。(2011)

- (A) 5040mm (B) 6300mm (C) 7258mm (D) 7812mm

答案：[B]

依据：《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）附录 C.1 可得该发电厂属于Ⅲ污秽区，查表 C.2 可得 220kV 及以下爬电比距为 $2.5\text{cm}/\text{kV}$ ，根据爬电比距的定义可得爬电距离 $l = 2.5 \times 252\text{cm} = 630\text{cm} = 6300\text{mm}$ ，式中 252 为 220kV 系统设备最高工作电压。

附 录 C

线路和发电厂、变电站污秽分级标准

表 C.1 线路和发电厂、变电站污秽等级

污秽等级	污 秽 特 征	盐 密 mg/cm^2	
		线路	发电厂、变电站
0	大气清洁地区及离海岸盐场 50km 以上无明显污秽地区	≤ 0.03	
I	大气轻度污秽地区，工业区和人口低密集区，离海岸盐场（10 ~ 50）km 地区。在污闪季节中干燥少雾（含毛毛雨）或雨量较多时	$> 0.03 \sim 0.06$	≤ 0.06

(续)

污秽等级	污 秽 特 征	盐 密 mg/cm ²	
		线路	发电厂、变电站
II	大气中等污秽地区,轻盐碱和炉烟污秽地区,离海岸盐场(3~10)km地区,在污闪季节中潮湿多雾(含毛毛雨)但雨量较少时	>0.06~0.10	>0.06~0.10
III	大气污染较严重地区,重雾和重盐碱地区,近海岸盐场(1~3)km地区,工业与人口密度较大地区,离化学污染源和炉烟污秽(300~1500)m的较严重污秽地区	>0.10~0.25	>0.10~0.25
IV	大气特别严重污染地区,离海岸盐场1km以内,离化学污染源和炉烟污秽300m以内的地区	>0.25~0.35	>0.25~0.35

表 C.2 各级污秽等级下的爬电比距分级数值

污 秽 等 级	爬 电 比 距 cm/kV			
	线 路		发 电 厂、变 电 站	
	220kV 及以下	330kV 及以上	220kV 及以下	330kV 及以上
0	1.39 (1.60)	1.45 (1.60)		
I	1.39~1.74 (1.60~2.00)	1.45~1.82 (1.60~2.00)	1.60 (1.84)	1.60 (1.76)
II	1.74~2.17 (2.00~2.50)	1.82~2.72 (2.00~2.50)	2.00 (2.30)	2.00 (2.20)
III	2.17~2.78 (2.50~3.20)	2.27~2.91 (2.50~3.20)	2.50 (2.88)	2.50 (2.75)
IV	2.78~3.30 (3.20~3.80)	2.91~3.45 (3.20~3.80)	3.10 (3.57)	3.10 (3.41)

- 注: 1. 线路和发电厂、变电站爬电比距计算时取系统最高工作电压。表中括号内数字为按额定电压计算值。
 2. 对电站设备 0 级(220kV 及以下爬电比距为 1.48cm/kV、330kV 及以上爬电比距为 1.55cm/kV), 目前保留作为过渡时期的污级。
 3. 对处于污秽环境中用于中性点绝缘和经消弧线圈接地系统的电力设备, 其外绝缘水平一般可按高一级选取。
 4. 附录 C 所列各表引自 GB/T 16434—1996。

(6) 发电厂、变电所中, 下列电压互感器型式的选择条件, 哪一条是不正确的? (2011)

- (A) 35kV 屋内配电装置, 宜采用树脂浇注绝缘电磁式电压互感器
 (B) 35kV 屋外配电装置, 宜采用油浸绝缘结构的电磁式电压互感器
 (C) 110kV 屋内配电装置, 当容量和准确度满足要求时, 宜采用电容式电压互感器
 (D) SF₆ 全封闭组合电器宜采用电容式电压互感器

答案: [D]

依据: 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 16.0.3 条。

16.0.3 电压互感器的型式按下列使用条件选择：

- 1 (3~35)kV 屋内配电装置，宜采用树脂浇注绝缘结构的电磁式电压互感器。
- 2 35kV 屋外配电装置，宜采用油浸绝缘结构的电磁式电压互感器。
- 3 110kV 及以上配电装置，当容量和准确度等级满足要求时，宜采用电容式电压互感器。
- 4 SF₆ 全封闭组合电器的电压互感器宜采用电磁式。

(7) 对于农村电网，通常通过 220kV 变电所或 110kV 变电所向 35kV 负荷供电，下列系统中，哪项的两台主变压器 35kV 侧不能并列运行？(2011)

- (A) 220/110/35kV, 50MVA, Yyd 形主变与 220/110/35kV, 180MVA, Yyd 形主变
- (B) 220/110/35kV, 150MVA, Yyd 形主变与 110/35kV, 63MVA, Yd 形主变
- (C) 220/110/35kV, 150MVA, Yyd 形主变与 110/35/10kV, 63MVA, Yyd 形主变
- (D) 220/35kV, 180MVA, Yd 形主变与 220/110/35kV, 180MVA, Yyd 形主变

答案：[C]

依据：《电力变压器选用导则》(GB/T 17468—2008) 第 6.1 条，条文具体内容见本章单项选择题第 (4) 题。本题中 C 答案，前者 110/35kV 的接线形式是 Yd 型接线，后者是 Yy 型接线，故不能并列运行。

(8) 电力系统中，330kV 并联电抗器容量和台数的选择，下面哪个因素可不考虑？(2011)

- (A) 限制工频过电压
- (B) 限制潜供电流
- (C) 限制短路电流
- (D) 无功平衡

答案：[C]

依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 9.6 节第 2 条：“超高压并联电抗器的位置和容量选择与很多因素有关。但应首先考虑限制工频过电压的需要，并结合限制潜供电流、防止自励磁、同期并列以及无功补偿等方面的要求，进行技术经济综合论证。”

(9) 当校验发电机断路器开断能力时，下列哪条规定是错误的？(2011)

- (A) 应分别校核系统源和发电源在主弧触头分离时对称短路电流值
- (B) 应分别校核系统源和发电源在主弧触头分离时非对称短路电流值
- (C) 应分别校核系统源和发电源在主弧触头分离时非对称短路电流的直流分量
- (D) 在校核系统源对称短路电流时，可不考虑厂用高压电动机的影响

答案：[D]

依据：《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 9.3.6 条：“在校验发电机断路器开断能力时，应分别校核系统源和发电源在主弧触头分离时对称短路电流值、非对称短路电流值及非对称短路电流的直流分量值；在校核系统源对称短路电流时应考虑厂用高压电动机的影响。”

(10) 在电力工程中，对 TP 类电流互感器，下列哪一级电流互感器的剩磁可以忽略不计？(2011)

- (A) TPS 级电流互感器
- (B) TPX 级电流互感器

(C) TPY 级电流互感器

(D) TPZ 级电流互感器

▶ 答案: [D]

▶ 依据: TP 类 (TP 意为暂态保护) 电流互感器。

该类电流互感器的准确限值考虑一次电流中同时具有周期分量和非周期分量, 并按某种规定的暂态工作循环时的峰值误差来确定的。该类电流互感器适用于考虑短路电流中非周期分量暂态影响的情况。

TP 类保护用电流互感器是能满足短路电流具有非周期分量的暂态过程性能要求的保护用电流互感器。

根据《导体和电器选择设计技术规定》《DL/T 5222—2005》条文说明第 15.0.4 条, TP 类电流互感器分为以下级别并定义如下:

TPS 级: 低漏磁电流互感器, 其性能由二次励磁特性和匝数比误差限值规定。对剩磁无限制。

TPX 级: 准确限值规定为在指定的暂态工作循环中的峰值瞬时误差 ($\hat{\varepsilon}$)。对剩磁无限制。

TPY 级: 准确限值规定为在指定的暂态工作循环中的峰值瞬时误差 ($\hat{\varepsilon}$)。剩磁不超过饱和磁通的 10%。

TPZ 级: 准确限值规定为在指定的二次回路时间常数下, 具有最大直流偏移的单次通电时的峰值瞬时交流分量误差 ($\hat{\varepsilon}_{ac}$)。无直流分量误差限值要求。剩磁实际上可以忽略。

63

(11) 在中性点非直接接地电力系统中, 中性点电流互感器一次回路启动电流应按下列哪一条件确定? (2011)

- (A) 应按二次电流及保护灵敏度确定一次回路启动电流
- (B) 应按接地电流确定一次回路启动电流
- (C) 应按电流互感器准确限值系数确定一次回路启动电流
- (D) 应按电流互感器的容量确定一次回路启动电流

▶ 答案: [A]

▶ 依据: 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 15.0.9 条: “中性点非直接接地系统中, 中性点电流互感器由二次电流及保护灵敏度确定一次回路启动电流。”

(12) 安装在靠近电源处的断路器, 当该处短路电流的非周期分量超过周期分量多少时, 应要求制造厂提供断路器的开断性能? (2013)

- (A) 15%
- (B) 20%
- (C) 30%
- (D) 40%

▶ 答案: [B]

▶ 依据: 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 9.2.5 条。

9.2.5 当断路器安装地点的短路电流直流分量不超过断路器额定短路开断电流幅值的 20% 时，额定短路开断电流仅由交流分量来表征，不必校验断路器的直流分断能力。如果短路电流直流分量超过 20% 时，应与制造厂协商，并在技术协议书中明确所要求的直流分量百分数。

(13) 当发电厂内发生三相短路故障时，若高压断路器实际开断时间越短，则：(2013)

- (A) 开断电流中的非周期分量相对值就越低
- (B) 对电力系统的冲击就越严重
- (C) 短路电流的热效应就越弱
- (D) 被保护设备的短路冲击耐受水平可以越低

答案：[C]

依据：高压断路器实际开断时间越短，则短路电流的产生热效应时间越短，短路电流的热效应就越弱，故规程对断路器的实际开断时间有严格要求。

(14) 某发电机通过一台分裂限流电抗器跨接于两段母线上，问该电抗器的分支额定电流一般按下列哪项选择？(2013)

- (A) 发电机额定电流的 50%
- (B) 发电机额定电流的 80%
- (C) 发电机额定电流的 70%
- (D) 发电机额定电流的 50% ~ 80%

答案：[C]

依据：《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 14.2.2 条。

14.2.2 分裂限流电抗器的额定电流按下列条件选择：

1 当用于发电厂的发电机或主变压器回路时，一般按发电机或主变压器额定电流的 70% 选择。

2 当用于变电站主变压器回路时，应按负荷电流大的一臂中通过的最大负荷电流选择。当无负荷资料时，可按主变压器额定电流的 70% 选择。

(15) 所用变压器高压侧选用熔断器作为保护电器时，下列哪种表述是正确的？(2013)

- (A) 熔断器熔管的电流应小于或等于熔体的额定电流
- (B) 限流式熔断器可使用在工作电压低于其额定电压的电网中
- (C) 熔断器只需按额定电压和开断电流选择
- (D) 熔体的额定电流应按熔断器的保护熔断特性选择

答案：[D]

依据：《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 17.0.1 条、第 17.0.2 条、17.0.4 条及 17.0.5 条。

17.0.1 高压熔断器应按下列技术条件选择：

- 1 电压；
- 2 电流；
- 3 开断电流；
- 4 保护熔断特性。

17.0.2 高压熔断器尚应按下列使用环境条件校验：

- 1 环境温度；
- 2 最大风速；
- 3 污秽；
- 4 海拔高度；
- 5 地震烈度。

注：当在屋内使用时，可不校验 2、3 款。

17.0.4 限流式高压熔断器不宜使用在工作电压低于其额定电压的电网中，以免因过电压而使电网中的电器损坏。

17.0.5 高压熔断器熔管的额定电流应大于或等于熔体的额定电流。熔体的额定电流应按高压熔断器的保护熔断特性选择。

(16) 在电压互感器的配置方案中，下列哪种情况高压侧中性点是不允许接地的？(2013)

- (A) 三个单相三绕组电压互感器 (B) 一个三相三柱式电压互感器
(C) 一个三相五柱式电压互感器 (D) 三个单相四绕组电压互感器

▶ 答案：[B]

▶ 依据：《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 16.0.4 条及条文说明第 16.0.4 条和表 16。

(17) 某回路测量用的电流互感器二次额定电流为 5A，其额定容量是 30VA，二次负载阻抗最大不超过下列何值时，才能保证电流互感器的准确等级？(2013)

- (A) 1Ω (B) 1.1Ω (C) 1.2Ω (D) 1.3Ω

▶ 答案：[C]

▶ 依据：《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 条文说明第 15.0.1 条公式 (4)，电流互感器的二次负荷可用阻抗 Z_b (Ω) 或容量 S_b (VA) 表示，两者之间的关系为：

$$Z_b = \frac{S_b}{I_{sn}^2} = \frac{30}{5^2} \Omega = 1.2 \Omega$$

2. 多项选择题

(1) 选择低压厂用变压器高压侧回路熔断器时，下列哪些规定是正确的？(2012)

- (A) 熔断器应能承受低压侧电动机成组起动所产生的过电流
(B) 变压器突然投入时的励磁涌流不应损伤熔断器

(C) 熔断器对变压器低压侧的短路故障进行保护，熔断器的最小开断电流低于预期短路电流

(D) 熔断器按能承受变压器的额定电流的条件进行选择

答案：[A、B、C]

依据：《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 17.0.10 条。

17.0.10 变压器回路熔断器的选择应符合下列规定：

1 熔断器应能承受变压器的容许过负荷电流及低压侧电动机成组起动所产生的过电流。

2 变压器突然投入时的励磁涌流不应损伤熔断器，变压器的励磁涌流通过熔断器产生的热效应可按（10～20）倍的变压器满载电流持续 0.1s 计算，当需要时可按（20～25）倍的变压器满载电流持续 0.01s 校验。

3 熔断器对变压器低压侧的短路故障进行保护，熔断器的最小开断电流应低于预期短路电流。

分析：每条规定对应一个选项，找到就能得分。

(2) 变电所中，一台额定电流 630A 的 10kV 真空断路器，可用于下列哪几种 10kV 三相电容器组？（2012）

(A) 10000kvar (B) 8000kvar (C) 5000kvar (D) 3000kvar

答案：[B、C、D]

依据：《35～110kV 变电所设计规范》（GB 50059—1992）第 3.7.3 条：“电容器装置的电器和导体的长期允许电流，不应小于电容器组额定电流的 1.35 倍。”

若选 10000kvar 的电容器组，则其长期允许载流量为

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{10000}{\sqrt{3} \times 10} \text{A} = 577 \text{A}, 1.35 \times 577 \text{A} = 779 \text{A} > 630 \text{A}$$

不符合要求。

若选 8000kvar 的电容器组，则其长期允许载流量为

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{8000}{\sqrt{3} \times 10} \text{A} = 462 \text{A}, 1.35 \times 462 \text{A} = 623.7 \text{A}$$

符合要求。

由此判断，容量小于 8000kvar 的电容器组均符合要求。

分析：本题也可采用《并联电容器装置设计规范》（GB 50227—2008）第 5.1.3 条答题，该条规定：并联电容器装置总回路和分组回路的电器导体选择时，回路工作电流应按稳态过电流最大值确定，过电流倍数应为回路额定电流的 1.3 倍。因此，采用 1.3 倍电容器组的额定电流，答案也对。《35～110kV 变电所设计规范》（GB 50059—1992）已经废止，《35kV～110kV 变电站设计规范》（GB 50059—2011）于 2012 年 8 月 1 日开始施行，但本题在新规范中找不到依据，因此仍沿用老规范答题。

(3) 在选用电气设备时，下面哪些内容是符合规程规定的？（2012）

- (A) 选用电器的最高工作电压不应低于所在系统的系统最高电压
- (B) 选用导体的长期允许电流不得小于该回路的额定电流
- (C) 电器的正常使用环境条件规定为：周围空气温度不高于 40°C ，海拔不超过 1000m
- (D) 确定校验用短路电流应按系统发生最大短路电流的正常运行方式

► 答案：[A、C、D]

► 依据：《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 5.0.1 条、5.0.2 条、5.0.3 条及 5.0.4 条。

5.0.1 选用电器的最高工作电压不应低于所在系统的系统最高电压值，电压值应按照 GB 156 的规定选取。

5.0.2 选用导体的长期允许电流不得小于该回路的持续工作电流。对于断路器、隔离开关、组合电器、封闭式组合电器、金属封闭开关设备、负荷开关、高压接触器等长期工作制电器，在选择其额定电流时，应满足各种可能运行方式下回路持续工作电流的要求。

5.0.3 电器的正常使用环境条件规定为：周围空气温度不高于 40°C ，海拔不超过 1000m。当电器使用在周围空气温度高于 40°C （但不高于 60°C ）时，允许降低负荷长期工作。推荐周围空气温度每增高 1K，减少额定电流负荷的 1.8%；当电器使用在周围空气温度低于 $+40^{\circ}\text{C}$ 时，推荐周围空气温度每降低 1K，增加额定电流负荷的 0.5%，但其最大过负荷不得超过额定电流负荷的 20%；当电器使用在海拔超过 1000m（但不超过 4000m）且最高周围空气温度为 40°C 时，其规定的海拔每超过 100m（以海拔 1000m 为起点）允许温升降低 0.3%。

5.0.4 校验导体和电器动稳定、热稳定以及电器开断电流所用的短路电流，应按系统最大运行方式下可能流经被校验导体和电器的最大短路电流。系统容量应按具体工程的设计规划容量计算，并考虑电力系统的远景发展规划（宜按该工程投产后 5~10 年规划）。

确定短路电流时，应按可能发生最大短路电流的正常运行方式，不应按仅在切换过程中可能并列运行的接线方式。

根据第 5.0.2 条：“选用导体的长期允许电流不得小于该回路的持续工作电流”，与 B 答案的说法不一致。

(4) 变电所中，可以作并联电容器组泄能设备的是下列哪几种？(2012)

- (A) 电容式电压互感器
- (B) 电磁式电压互感器
- (C) 放电器件
- (D) 电流互感器

► 答案：[B、C]

► 依据：《并联电容器装置设计规范》（GB 50227—2008）第 5.6 条及其条文说明、《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 16.0.8 条及其条文说明。

► 分析：GB 50227—2008 条文说明 5.6 条指出，经过多年的设备制造发展和运行实践经验，放电线圈已经形成定型产品，采用电压互感器作为电容器组的放电器的情况已不存在。DL/T 5222—2005 条文说明第 16.0.8 条指出，国外大多使用放电线圈，国内都采用电

压互感器作为放电线圈。若电容式电压互感器，当放电到两电容器电压相等与将不再继续放电，因此电容式电压互感器不能作为泄能设备。

(5) 屋外配电装置的导体、套管、绝缘子和金具选择时，其安全系数的取值下列说法哪些是正确的？（2012）

- (A) 套管在荷载长期作用时的安全系数不应小于 2.5
- (B) 悬式绝缘子在荷载短时作用时对应于破坏荷载时的安全系数不应小于 2.5
- (C) 软导体在荷载长期作用时的安全系数不应小于 4
- (D) 硬导体对应于屈服点应力在荷载短时作用时的安全系数不应小于 1.67

答案：[A、C]

依据：《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）表 7.1.8。

表 7.1.8 导体和绝缘子的安全系数

类别	荷载长期作用时	荷载短时作用时
套管、支持绝缘子	2.5	1.67
悬式绝缘子及其金具	4	2.5
软导体	4	2.5
硬导体	2.0	1.67

注：1. 悬式绝缘子的安全系数对应于 1h 机电试验荷载，而不是破坏荷载。若是后者，安全系数则应为 5.3 和 3.3。

2. 硬导体的安全系数对应于破坏应力，若对应于屈服点应力，其安全系数应分别改为 1.6 和 1.4。

分析：由注 2 可知，硬导体的安全系数对应于屈服点，在荷载短时作用时的安全系数为 1.4。

(6) 电力工程中，按冷却方式划分变压器的类型，下列哪几种是正确的？（2011）

- (A) 自冷变压器、强迫油循环自冷变压器
- (B) 风冷变压器、强迫油循环风冷变压器
- (C) 水冷变压器、强迫油循环水冷变压器
- (D) 强迫导向油循环风冷变压器、强迫导向油循环水冷变压器

答案：[A、B、D]

依据：《电力变压器选用导则》（GB/T 17468—2008）第 4.2 条。

4.2 变压器的类型

电力变压器按用途可分为：升压变压器、降压变压器、配电变压器、联络变压器和厂用变压器；按绕组型式可分为：双绕组变压器、三绕组变压器和自耦变压器；按相数可分为：三相变压器和单相变压器；按调压方式可分为：无调压变压器、无励磁调压变压器和有载调压变压器；变压器的类型按冷却方式可分为：自冷变压器、风冷变压器、强迫油循环自冷变压器、强迫油循环风冷变压器、强迫油循环水冷变压器、强迫导向油循环风冷变压器和强迫导向油循环水冷变压器，其对应的产品型号见 JB/T 3837。

(7) 电力工程中, 关于断路器选择, 下列哪几种规定是正确的? (2011)

- (A) 35kV 系统中电容器组回路宜选用 SF₆ 断路器或真空断路器
- (B) 当断路器的两端为互不联系的电源时, 断路器同极断口间的公称爬电比距与对地公称爬电比距之比一般取为 1.15 ~ 1.3
- (C) 110kV 以上的系统, 当电力系统稳定要求快速切除故障时, 应选用分闸时间不大于 0.04s 的断路器
- (D) 在 110kV 及以下的中性点非直接接地的系统中, 断路器首相开断系数应取 1.3

► 答案: [A、B、C]

► 依据: 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 9.2.3 条、9.2.7 条、9.2.11 条及 9.2.13 条。

9.2.3 在中性点直接接地或经小阻抗接地的系统中选择断路器时, 首相开断系数应取 1.3; 在 110kV 及以下的中性点非直接接地的系统中, 则首相开断系数应取 1.5。

9.2.7 对于 110kV 以上的系统, 当电力系统稳定要求快速切除故障时, 应选用分闸时间不大于 0.04s 的断路器; 当采用单相重合闸或综合重合闸时, 应选用能分相操作的断路器。

9.2.11 用于切合并联补偿电容器组的断路器, 应校验操作时的过电压倍数, 并采取相应的限制过电压措施。(3~10) kV 宜用真空断路器或 SF₆ 断路器。容量较小的电容器组, 也可使用开断性能优良的少油断路器。35kV 及以上电压级的电容器组, 宜选用 SF₆ 断路器或真空断路器。

9.2.13 当断路器的两端为互不联系的电源时, 设计中应按以下要求校验:

- 1 断路器断口间的绝缘水平满足另一侧出现工频反相电压的要求;
- 2 在失步下操作时的开断电流不超过断路器的额定反相开断性能;
- 3 断路器同极断口间的公称爬电比距与对地公称爬电比距之比一般取为 1.15 ~ 1.3。
- 4 当断路器起联络作用时, 其断口的公称爬电比距与对地公称爬电比距之比, 应选取较大的数值, 一般不低于 1.2。

由第 9.2.3 条可知 D 答案错误; 由第 9.2.7 条可知 C 正确; 由第 9.2.11 条可知 A 答案正确; 由第 9.2.13 条第 3 款可知 B 答案正确。

(8) 使用在 500kV 电力系统中的断路器在满足基本技术条件下, 尚应根据其使用条件校验下列哪些开断性能? (2011)

- (A) 近区故障条件下的开合性能 (B) 异相接地条件下的开合性能
- (C) 二次侧短路开断性能 (D) 直流分量开断性能

► 答案: [A、B、C]

依据：《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 9.2.14 条。

9.2.14 断路器尚应根据其使用条件校验下列开断性能：

- 1 近区故障条件下的开合性能；
- 2 异相接地条件下的开合性能；
- 3 失步条件下的开合性能；
- 4 小电感电流开合性能；
- 5 容性电流开合性能；
- 6 二次侧短路开断性能。

(9) 电力工程中，普通限流电抗器的电抗百分值应按下列哪些条件选择和校验？（2011）

- (A) 将短路电流限制到要求值
- (B) 出线上的电抗器的电压损失不得大于母线额定电压的 6%
- (C) 母线分段电抗器不必校验短路时的母线剩余电压值
- (D) 装有无时限继电保护的出线电抗器，不必校验短路时的母线剩余电压值

答案：[A、C、D]

依据：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 14.2.3 条。

14.2.3 普通电抗器的电抗百分值应按下列条件选择和校验：

- 1 将短路电流限制到要求值。
- 2 正常工作时，电抗器的电压损失不得大于母线额定电压的 5%，对于出线电抗器，尚应计及出线上的电压损失。
- 3 当出线电抗器未装设无时限继电保护装置时，应按电抗器后发生短路，母线剩余电压不低于额定值的（60~70）% 校验。若此电抗器接在 6kV 发电机主母线上，则母线剩余电压应尽量取上限值。

对于母线分段电抗器、带几回出线的电抗器及其他具有无时限继电保护的出线电抗器不必校验短路时的母线剩余电压。

(10) 电力工程中，变压器回路熔断器的选择规定，下列哪些是正确的？（2011）

- (A) 熔断器按能承受变压器的额定电流进行选择
- (B) 变压器突然投入时的励磁涌流不应损伤熔断器
- (C) 熔断器对变压器低压侧的短路故障进行保护，熔断器的最小开断电流应低于预期短路电流
- (D) 熔断器应能承受低压侧电动机成组起动所产生的过电流

答案：[B、C、D]

依据：根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 17.0.10 条。

17.0.10 变压器回路熔断器的选择应符合下列规定：

1 熔断器应能承受变压器的容许过负荷电流及低压侧电动机成组起动所产生的过电流；

2 变压器突然投入时的励磁涌流不应损伤熔断器，变压器的励磁涌流通过熔断器产生的热效应可按 (10 ~ 20) 倍的变压器满载电流持续 0.1s 计算，当需要时可按 (20 ~ 25) 倍的变压器满载电流持续 0.01s 校验。

3 熔断器对变压器低压侧的短路故障进行保护，熔断器的最小开断电流应低于预期短路电流。

71

(11) 在额定功率因数情况下，汽轮发电机的额定连续输出功率，与电压和频率的变化有关。在下列哪几种情况下发电机在规定温升下可以连续输出额定功率？(2013)

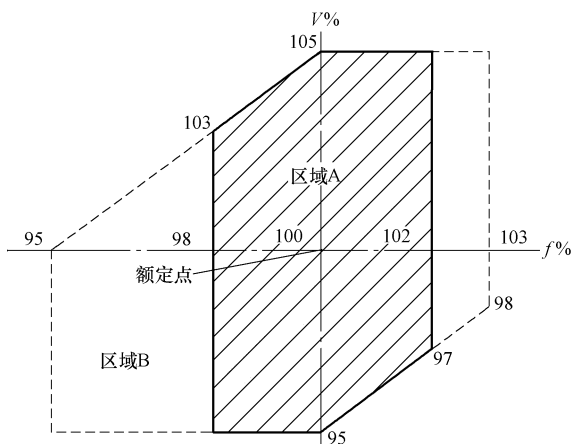
- (A) 电压 +5%，频率 +2% (B) 电压 -5%，频率 +2%
(C) 电压 +5%，频率 -2% (D) 电压 -5%，频率 -2%

答案：[A、D]

依据：《隐极同步发电机技术要求》(GB/T 7064—2008) 第 4.6 条。

4.6 运行期间电压和频率的变化

电压和频率的综合变化关系如图中阴影部分 (区域 A) 所示，发电机在额定功率因数下当电压偏差 $\pm 5\%$ 、频率偏差 $\pm 2\%$ 时，应该能够长期输出额定功率。



(12) 下列哪些情况下，低压电器和导体可不校验热稳定？(2013)

- (A) 用限流熔断器保护的低压电器和导体
(B) 当引接电缆的载流量不大于熔件额定电流的 2.5 倍
(C) 用限流断路器保护的低压电器和导体
(D) 当采用保护式磁力启动器或放在单独动力箱内的接触器时

答案：[A、C、D]

依据：《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）第 7.5.3 条。

7.5.3 在下列组合方式下，低压电器和导体可不校验动稳定或热稳定：

- 1 用限流熔断器或额定电流为 60A 以下的熔断器保护的电器和导体可不校验热稳定。
- 2 当熔件的额定电流不大于电缆额定载流量的 2.5 倍，且供电回路末端的最小短路电流大于熔件额定电流的 5 倍时，可不校验电缆的热稳定。
- 3 当采用保护式磁力起动器或放在单独动力箱内的接触器时，可不校验动、热稳定。
- 4 用限流断路器保护的电器和导体可不校验热稳定。

(13) 在设计共箱封闭母线时，下列哪些地方应装设伸缩节？(2013)

- (A) 共箱封闭母线超过 20m 长的直线段
- (B) 共箱封闭母线不同基础的连接段
- (C) 共箱封闭母线与设备连接处
- (D) 共箱封闭母线长度超过 30m 时

答案：[A、B、C]

依据：《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）条文说明第 7.5.11 条。

7.5.11 共箱封闭母线超过 20m 长的直线段、不同基础连接段及设备连接处等部位，应设置热胀冷缩或基础沉降的补偿装置。

3. 案例题

题 1：某火力发电厂，在海拔 1000m 以下，发电机变压器组单元接线如图 4-1 所示。设 i_1 、 i_2 分别为 d_1 、 d_2 点短路时流过 DL 的短路电流，已知远景最大运行方式下， i_1 的交流分量起始有效值为 36kA 不衰减，直流分量衰减时间常数为 45ms； i_2 的交流分量起始有效值为 3.86kA，衰减时间常数为 720ms，直流分量衰减时间常数为 260ms。请解答下列各题（计算题按最接近数值选项）。(2011)

(1) 若 220kV 断路器额定开断电流 50kA， d_1 或 d_2 点短路时主保护动作时间加断路器开断时间均为 60ms。请计算断路器应具备的直流分断能力及当 d_2 点短路时需要开断的短路电流直流分量百分数最接近下列哪组数值？

- (A) 37.28%、86.28%
- (B) 26.36%、79.3%
- (C) 18.98%、86.28%
- (D) 6.13%、26.36%

答案：[C]

解答过程：1) 根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 9.2.5 条及条文说明。当断路器安装地点的短路电流直流分量不超过断路器额定短路开断电

流的 20% 时额定短路开断电流仅由交流分量来表征, 不必校验断路器的直流分断能力; 短路电流中的直流分量是以断路器的额定短路开断电流值的 100% 核算的。

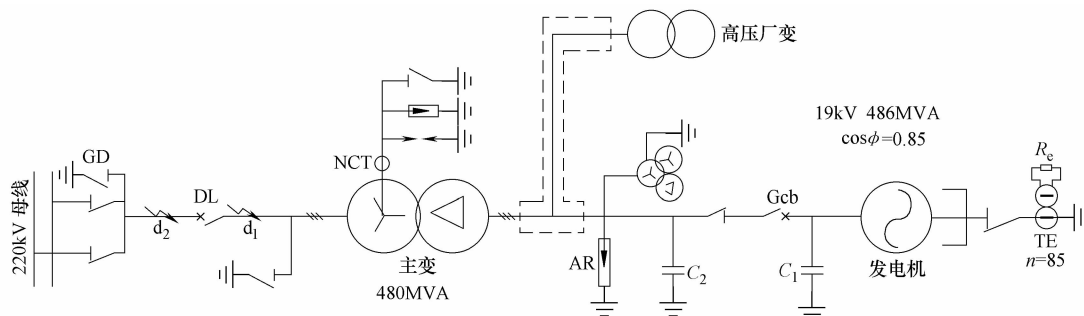


图 4-1 发电机变压器组单元接线

2) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 附录 F 式 (F. 3. 1-2)。显然 d_1 点的短路电流较大, 按 100% 断路器额定短路开断电流校验直流分断能力, 故有

$$\frac{36 \times \sqrt{2} \times e^{-\frac{60}{45}}}{50 \times \sqrt{2}} = 18.98\%$$

式中, 45ms 为直流分量衰减时间常数; 60ms 为主保护动作时间加断路器开断时间。

d_2 点短路时需要开断的短路电流直流分量百分比为

$$\frac{3.86 \times \sqrt{2} \times e^{-\frac{60}{260}}}{3.86 \times \sqrt{2} \times e^{-\frac{60}{720}}} = e^{\left(\frac{60}{720} - \frac{60}{260}\right)} = 86.28\%$$

式中, 260ms 为直流分量衰减时间常数, 720ms 为交流分量衰减时间常数。

(2) 试计算接地开关 GD 应满足的最小动稳定电流最接近下列哪项数值?

- (A) 120kA (B) 107kA (C) 104kA (D) 94kA

答案: [D]

解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 F. 4. 1 条式 (F. 4. 1-1)。

冲击电流 i_{ch} 按式 (F. 4. 1-1) 计算:

$$i_{ch} = \sqrt{2} K_{ch} I'' \quad (F. 4. 1-1)$$

$$K_{ch} = 1 + e^{-\frac{0.01\omega}{T_a}} \quad (F. 4. 1-2)$$

式中 K_{ch} ——冲击系数, 可按表 F. 4. 1 选用。

表 F. 4. 1 不同短路点的冲击系数推荐值

短 路 点	推 荐 值
发电机电端	1.90
发电厂高压侧母线及发电机电压电抗器后	1.85
远离发电厂的地点	1.80

对于本题，当不考虑周期分量的衰减， K_{ch} 取 1.85，有

$$i_{ch} = \sqrt{2} K_{ch} I'' = \sqrt{2} \times 1.85 \times 36 \text{ kA} \approx 94 \text{ kA}$$

(3) 图中主变压器中性点回路 NCT 电流比宜选择下列哪项？为什么？

- (A) 100/5A (B) 400/5A (C) 1200/5A (D) 4000/5A

答案：[B]

解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 15.0.6 条规定：“电力变压器中性点电流互感器的一次额定电流，应大于变压器允许的不平衡电流，一般可按变压器额定电流的 30% 选择。安装在放电间隙回路的电流互感器，一次额定电流可按 100A 选择”，可得

$$I_g = \frac{S}{\sqrt{3} U_N} = \frac{480}{\sqrt{3} \times 220} \text{ kA} = 1.26 \text{ kA}$$

$$\Rightarrow 0.3 I_g = 0.3 \times 1.26 \text{ kA} = 0.378 \text{ kA} = 378 \text{ A}$$

(4) 主变压器区域有一支 42m 高的独立避雷针，主变至 220kV 配电装置架空线在附近经过，高度为 14m。计算该避雷针与 220kV 架空线间的空间最小距离最接近下列哪项数值？（已知避雷针冲击接地电阻为 12Ω，不考虑架空线风偏）

- (A) 1.8m (B) 3.0m (C) 3.8m (D) 4.6m

答案：[C]

解答过程：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 7.1.11 条：“独立避雷针、避雷线与配电装置带电部分、发电厂和变电所电气设备接地部分、架构接地部分之间的空气中的距离，应符合式 (15) 的要求”，即

$$S_a \geq 0.2 R_i + 0.1 h = (0.2 \times 12 + 0.1 \times 14) \text{ m} = 3.8 \text{ m}$$

(5) 已知每相对地电容： $C_1 = 0.13 \mu\text{F}$ ， $C_2 = 0.26 \mu\text{F}$ ，发电机定子绕组 $C_F = 0.45 \mu\text{F}$ ；忽略封闭母线和变压器的电容。中性点接地变压器 TE 的电压比 $n = 85$ 。请计算发电机中性点接地变压器二次侧电阻 R_e 的值最接近下列哪项？

- (A) 0.092Ω (B) 0.159Ω (C) 0.477Ω (D) 1149Ω

答案：[B]

解答过程：解法 1)：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (6-47) 可得

$$R \leq \frac{1}{N^2 \times 3 \omega (C_{0f} + C_i)} \times 10^6 = \frac{1}{85^2 \times 3 \times 2 \times \pi \times 50 \times (0.45 + 0.13 + 0.26)} \times 10^6 \Omega = 0.175 \Omega$$

接近于 B 答案。

解法 2)：根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 式 (18.2.5-4) 有

$$R_{N2} \leq \frac{U_N \times 10^6}{1.1 \times \sqrt{3} \times I_C \times n_\phi^2} = \frac{U_N \times 10^6}{1.1 \times \sqrt{3} \times \sqrt{3} \times U_N \times 2 \times \pi \times 50 \times (0.45 + 0.13 + 0.26) \times 85^2} \Omega = 0.159 \Omega$$

答案与 B 答案刚好吻合。综上所述，本题 B 为正确答案。

题 2: 某 500kV 变电所中有 750MVA、500/220/35kV 主变压器两台。35kV 母线分列运行、最大三相短路容量为 2000MVA，是不接地系统。拟在 35kV 侧安装几组并联电容器组，请按各小题假定条件回答下列问题。(2011)

(1) 如本变电所每台主变压器 35kV 母线上各接有 100Mvar 电容器组，请计算电容器组投入运行后母线电压升高值为 ()。

- (A) 13.13kV (B) 7kV (C) 3.5kV (D) 1.75kV

▶ 答案: [D]

▶ 解答过程: 根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 5.2.2 条。

75

5.2.2 电容器额定电压选择，应符合以下要求：

- 1 宜按电容器接入电网处的运行电压进行计算。
- 2 电容器应能承受 1.1 倍长期工频过电压。
- 3 应计入串联电抗器引起的电容器运行电压升高。接入串联电抗器后，电容器运行电压应按下式计算：

$$U_c = \frac{U_s}{\sqrt{3}S} \cdot \frac{1}{1-K} \quad (5.2.2)$$

式中 U_c ——电容器的运行电压 (kV)；

U_s ——并联电容器装置的母线运行电压 (kV)；

S ——电容器组每相的串联段数；

K ——电抗率。

根据本条规定及对应条文说明，并联电容器装置接入电网后引起的母线电压升高可按下列式计算：

$$\Delta U_s = U_{s0} \frac{Q}{S_d} = 35 \times \frac{100}{2000} \text{kV} = 1.75 \text{kV}$$

(2) 如本变电所安装的三相 35kV 电容器组，每组由单台 500kvar 电容器或 334kvar 电容器串、并联组合而成，采用双星形接线，每相的串联段是 2。请选择下列哪一种组合符合规程规定且单组容量较大？并说明理由。

- (A) 每串联段 500kvar，7 台并联
(B) 每串联段 500kvar，8 台并联
(C) 每串联段 334kvar，10 台并联
(D) 每串联段 334kvar，11 台并联

▶ 答案: [D]

▶ 解答过程: 根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 4.1.2 条第 3

款知，每个串段的电容器并联总容量不应超过 3900kvar，故首先可以排除 B。

如果选择 A，则总容量为 $7 \times 2 \times 2 \times 500 \times 3 \text{kvar} = 42000 \text{kvar} = 42 \text{Mvar}$

如果选择 C，则总容量为 $10 \times 2 \times 2 \times 334 \times 3 \text{kvar} = 40080 \text{kvar} \approx 40 \text{Mvar}$

如果选择 D，则总容量为 $11 \times 2 \times 2 \times 334 \times 3 \text{kvar} = 44088 \text{kvar} \approx 44 \text{Mvar}$

又根据第 3.0.3 条及条文说明规定：电容器分组容量，应根据加大单组容量、减少组数的原则确定。按加大单组容量，减少组数的原则，单组容量最大的为 D 答案，符合规范规定。

(3) 如本变电所安装的四组三相 35kV 电容器组。每组串 5% 的电抗器，每台主变压器装两组，下列哪一种电容器组需考虑对 35kV 母线短路容量的助增作用？并说明理由。

(A) 35000kvar

(B) 40000kvar

(C) 45000kvar

(D) 60000kvar

答案：[D]

解答过程：《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）附录 F.7.1。

F.7.1 一般规定：

下列情况可不考虑并联电容器组对短路电流的影响：

1) 短路点在出线电抗器后；

2) 短路点在主变压器高压侧；

3) 不对称短路；

4) 对于采用 5% ~ 6% 串联电抗器的电容器装置 $\frac{Q_c}{S_d} < 5\%$ 时；对于采用 12% ~ 13%

串联电抗器的电容器装置 $\frac{Q_c}{S_d} < 10\%$ 时。

式中：

Q_c ——并联电容器装置的总容量，Mvar；

S_d ——并联电容器装置安装地点的短路容量，MVA；

对于本题， $\frac{Q_c}{S_d} < 5\% \Rightarrow Q_c < 5\% \times S_d = \frac{5}{100} \times 2000 \text{Mvar} = 100 \text{Mvar} = 100000 \text{kvar}$ 。

由题目可知，每台变压器装两组，故每组电容器的容量最大为

$$\frac{100000}{2} \text{kvar} = 50000 \text{kvar}$$

(4) 如本变电所安装的三相 35kV 电容器组，每组由 48 台 500kvar 电容器串、并联组合而成，每组容量 24000kvar。如图 4-2 ~ 图 4-5 所示的几种接线方式中，哪一种是可采用的？并说明理由。（500kvar 电容器有内熔丝）

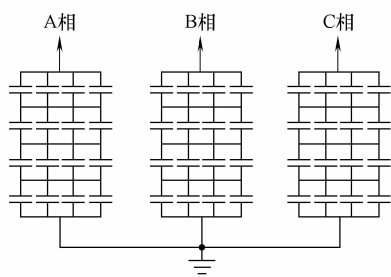


图 4-2 单星形接线，每相 4 并 4 串

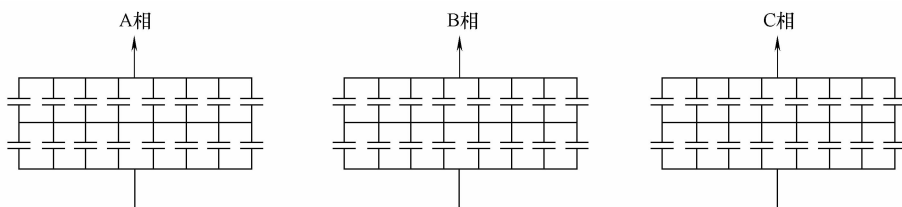


图 4-3 单星形接线，每相 8 并 2 串

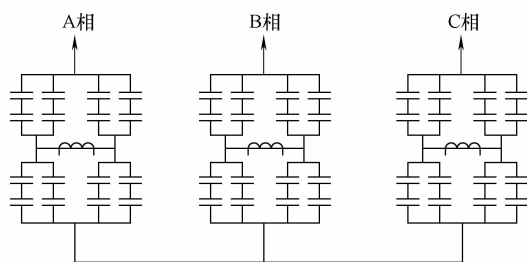


图 4-4 单星形接线，每相 4 并 4 串，桥差接线

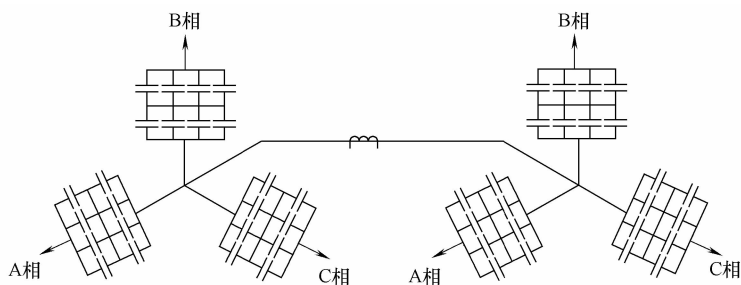


图 4-5 双星形接线，每相 4 并 2 串

- (A) 单星形接线，每相 4 并 4 串
- (B) 单星形接线，每相 8 并 2 串
- (C) 单星形接线，每相 4 并 4 串，桥差接线
- (D) 双星形接线，每相 4 并 2 串

答案：[D]

解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》（GB 50227—2008）第 4.1.2 条。

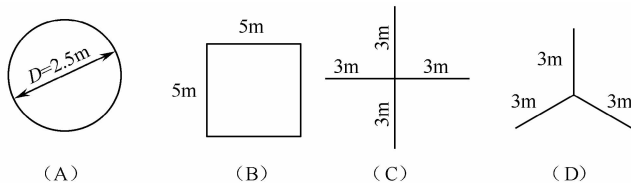
4.1.2 并联电容器的接线方式应符合下列规定：

- 1 并联电容器组应采用星形接线。在中性点非直接接地的电网中，星形接线电容器组的中性点不应接地。
- 2 并联电容器组的每相或每个桥臂，由多台电容器并联组合连接时，宜采用先并联后串联的连接方式。
- 3 每个串联段的电容器并联总容量不超过 3900kvar。

对于本题，由第 1 款可排除 A 答案，由第 2 款可排除 C 答案，由第 3 款可排除 B 答案，只有 D 答案满足规范要求。

► 分析：电容器组宜采用单星形接线或双星形接线。低压电容器或电容器组，可采用三角形接线或中性点不接地的星形接线方式。单星形接线与双星形接线比较，前者具有接线简单，布置清晰，串联电抗器接在中性点侧只需一台，没有发生对称故障的可能。因此，电容器组接线要先考虑采用单星形接线，其次再考虑采用双星形接线。

- (5) 假设站内避雷针的独立接地装置采用水平接地极，水平接地极采用直径为 $\phi 10\text{mm}$ 的圆钢，埋深 0.8m ，土壤电阻率为 $100\Omega \cdot \text{m}$ ，要求接地电阻不大于 10Ω 。请计算当接地装置采用下列哪种形状时，能满足接地电阻不大于 10Ω 的要求？



► 答案：[B]

► 解答过程：根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 附录 A 式 (A2)，对于 (A) 图有

$$R_h = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{hd} + A \right) = \frac{100}{2\pi \times \pi \times 2.5} \left[\ln \frac{(\pi \times 2.5)^2}{0.8 \times 0.01} + 0.48 \right] \Omega = 19.11\Omega > 10\Omega$$

对于 (B) 图有

$$R_h = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{hd} + A \right) = \frac{100}{2\pi \times 20} \left(\ln \frac{20^2}{0.8 \times 0.01} + 1 \right) \Omega = 9.41\Omega < 10\Omega$$

满足要求。

► 分析：对于 (C) 图、(D) 图的分析方法也是一样的。

题 3：某 220kV 变电所，所址环境温度 35°C ，大气污秽 III 级，海拔 1000m，所内的 220kV 设备用普通敞开式电器，户外中型布置，220kV 配电装置为双母线，母线三相短路电流为 25kA，其中一回接线如图 4-6 所示，最大输送功率为 200MVA，回答下列问题。(2010)

(1) 此回路断路器、隔离开关持续电流为 ()。

- (A) 52.487A (B) 524.87A (C) 787.3A (D) 909A

► 答案：[B]

► 解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第6-1节表6-3，回路持续工作电流为线路最大负荷电流，即

$$I_g = \frac{S}{\sqrt{3}U_e} = \frac{200 \times 1000}{\sqrt{3} \times 220} \text{A} = 524.87 \text{A}$$

根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第6-1节二、2：选用的电器额定电流 I_e 不得低于所在回路在各种可能运行方式下的持续工作电流 I_g ，即 $I_e \geq I_g = 524.87 \text{A}$ ，故本题应该选 B 为正确答案。

(2) 如果此回路是系统联络线，采用 LW12-220 SF₆ 单断口瓷柱式断路器，请计算瓷套对地爬电距离和断口间爬电距离不低于哪项？

- (A) 500cm 550cm (B) 630cm 630cm
(C) 630cm 756cm (D) 756cm 756cm

► 答案：[C]

► 解答过程：1) 根据《高压架空线路和发电厂、变电所环境污区分级及外绝缘选择标准》(GB/T 16434—1996) 表 2 知， $\lambda = 2.5 \text{cm/kV}$ ，瓷套对地爬电距离 $L = \lambda U_m = 2.5 \times 252 \text{cm} = 630 \text{cm}$ 。

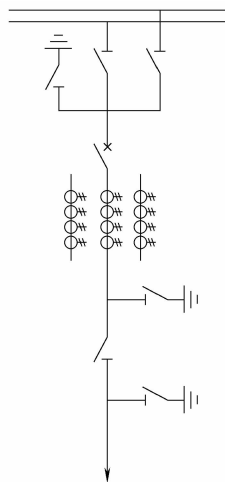


图 4-6 一回接线

表 2 各污秽等级下的爬电比距分级数值

污秽等级	爬电比距, cm/kV			
	线路		发电厂、变电所	
	220kV 及以下	330kV 及以上	220kV 及以下	330kV 及以上
0	1.39 (1.60)	1.45 (1.60)	—	—
I	1.37 ~ 1.74 (1.60 ~ 2.00)	1.45 ~ 1.82 (1.60 ~ 2.00)	1.60 (1.84)	1.60 (1.76)
II	1.74 ~ 2.17 (2.00 ~ 2.50)	1.82 ~ 2.27 (2.00 ~ 2.50)	2.00 (2.30)	2.00 (2.20)
III	2.17 ~ 2.78 (2.50 ~ 3.20)	2.27 ~ 2.91 (2.50 ~ 3.20)	2.50 (2.88)	2.50 (2.75)
IV	2.78 ~ 3.30 (3.20 ~ 3.80)	2.91 ~ 3.45 (3.20 ~ 3.80)	3.10 (3.57)	3.10 (3.41)

注：① 线路和发电厂、变电所比距计算时取系统最高工作电压。上表（）内数字为按额定电压计算值。

② 计算各污级下的绝缘强度时仍用几何爬电距离。由于绝缘子爬电距离的有效系数需根据大量的人工与自然污秽实验的结果确定，目前难以一一列出，见附录 D。

③ 对电站设备 0 级（220kV 及以下爬电比距为 1.48cm/kV、330kV 及以上爬电比距为 1.55cm/kV），目前保留作为过渡时期的污级。

2) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 9.2.13 条。

9.2.13 当断路器的两端为互不联系的电源时，设计中应按以下要求校验：

- 1 断路器断口间的绝缘水平满足另一侧出现工频反相电压的要求；
- 2 在失步下操作时的开断电流不超过断路器的额定反相开断性能；
- 3 断路器同极断口间的公称爬电比距与对地公称爬电比距之比一般取为 1.15 ~ 1.3。

4 当断路器起联络作用时，其断口的公称爬电比距与对地公称爬电比距之比，应选取较大的数值，一般不低于 1.2。

当缺乏上述技术参数时，应要求制造部门进行补充试验。

根据该条规定的第 4 款可知，该 SF₆ 单断口瓷柱式断路器断口间爬电距离 $L_1 \geq 1.2L = 1.2 \times 630\text{cm} = 756\text{cm}$ 。

► 分析：2011 年 7 月 1 日起开始施行的《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 1 部分：定义、信息和一般原则》（GB/T 26218.1—2010）、《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 2 部分：交流系统用瓷和玻璃绝缘子》（GB/T 26218.2—2010）是关于污秽条件下高压绝缘子的选择的最新标准，并且已经取代《高压架空线路和发电厂、变电所环境污区分级及外绝缘选择标准》（GB/T 16434—1996），但 2013 年考试大纲使用的是后者，这一点需引起重视，每年考试前需要关注考试大纲的最新规程规范列表。

(3) 如某回路 220kV 母线隔离开关选定额定电流为 1000A，它应具备切母线环流能力是：当开合电压 300V，开合次数 100 次，其开断电流应为哪项？

- (A) 500A (B) 600A (C) 800A (D) 1000A

► 答案：[C]

► 解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 11.0.9 条。

11.0.9 条 对一般隔离开关的开断电流为 $0.8I_n$ （ I_n 为产品的额定电流），开合次数 100 次，开合电压为

10kV 级产品 - 50V；

(35 ~ 110) kV 级产品 - 100V；

220kV 级以上产品 - 300V、400V。

本题中，开断电流取 $0.8I_n = 0.8 \times 1000\text{A} = 800\text{A}$ 。

► 分析：有时候答案来自条文说明，对重要规范还需要仔细阅读条文说明。

(4) 如 220kV 的母线隔离开关选用单柱垂直开启式，则在分闸状态下动静触头的最小电气距离不小于（ ）。

- (A) 1800mm (B) 2000mm (C) 2550mm (D) 3800mm

► 答案：[C]

► 解答过程：根据《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）第 7.3.3 条规

定,单柱垂直开启式隔离开关在分闸状态下,动静触头间的最小电气距离不应小于配电装置的最小安全净距 B_1 值。根据表 8.1.1 得 $B_1 = 2550\text{mm}$, 故本题选 C。

表 8.1.1 屋外配电装置的安全净距离

mm

符号	适用范围	图号	额定电压(kV)								
			3 ~ 10	15 ~ 20	35	66	110J	110	220J	330J	500J
A_1	1. 带电部分至接地部分之间 2. 网状遮栏向上延伸距地面 2.5m 处遮栏上方带电部分之间	8. 1. 1-1 8. 1. 1-2	200	300	400	650	900	1000	1800	2500	3800
A_2	1. 不同相的带电部分之间 2. 断路器和隔离开关的断口两侧引线带电部分之间	8. 1. 1-1 8. 1. 1-3	200	300	400	650	1000	1100	2000	2800	4300
B_1	1. 设备运输时,其外廓至无遮栏带电部分之间 2. 交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间 3. 栅状遮栏至绝缘体和带电部分之间 4. 带电作业时的带电部分至接地部分之间	8. 1. 1-1 8. 1. 1-2 8. 1. 1-3	950	1050	1150	1400	1650	1750	2550	3250	4550
B_2	网状遮栏至带电部分之间	8. 1. 1-2	300	400	500	750	1000	1100	1900	2600	3900
C	1. 无遮栏裸导体至地面之间 2. 无遮栏裸导体至建筑物、构筑物顶部之间	8. 1. 1-2 8. 1. 1-3	2700	2800	2900	3100	3400	3500	4300	5000	7500
D	1. 平行的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间 2. 带电部分与建筑物、构筑物的边沿部分之间	8. 1. 1-1 8. 1. 1-2	2200	2300	2400	2600	2900	3000	3800	4500	5800

注:1. 110J、220J、330J、500J 系指中性点有效接地系统。

2. 海拔超过 1000m 时, A 值应进行修正(参见附录 B)。

3. 本表所列各数值不适用于制造厂的成套配电装置。

4. 500kV 的 A_1 值,分裂软导线至接地部分之间可取 3500mm。

5. 750kV 电压等级屋外配电装置的最小安全净距可参见附录 E。

1) 对于 220kV 及以上电压,可按绝缘体电位的实际分布,采用相应的 B_1 值检验。此时,允许栅状遮栏与绝缘体的距离小于 B_1 值。当无给定的分布电位时,可按线性分布计算。校验 500kV 相间通道的安全净距,亦可按此原则。

2) 带电作业时,不同相或交叉的不同回路带电部分之间,其 B_1 值可取 $(A_2 + 750)\text{mm}$ 。

(5) 220kV 变电所远离发电厂, 220kV 母线三相短路电流为 25kA, 220kV 配电设备某一回路电流互感器的一次额定电流为 1200A, 请计算电流互感器的动稳定倍数应大于 ()。

- (A) 53 (B) 38 (C) 21 (D) 14.7

答案: [B]

解答过程: 1) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 附录 F.4 式 (F.4.1-1) 有 $i_{ch} = \sqrt{2}K_{ch}I'' = \sqrt{2} \times 1.80 \times 25\text{kA} = 63.64\text{kA}$, 式中冲击系数 K_{ch} 的选择是根据表 F.4.1, 对短路点远离发电厂的地点, 冲击系数的推荐值是 1.8。

根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 15.0.1 条及条文说明可知, 动稳定校验的内容有两点, 其中之一是校验冲击电流倍数应等于或小于制造部门给出的允许动稳定倍数, 这是校验短路电流作用在电流互感器内部的力。校验按下式计算:

$$K_d \geq \frac{i_{ch}}{\sqrt{2}I_{1n}} = \frac{63.64 \times 1000}{\sqrt{2} \times 1200} = 37.5 \approx 38$$

15.0.1 电流互感器应按下列技术条件选择和校验:

- 1 一次回路电压;
- 2 一次回路电流;
- 3 二次负荷;
- 4 二次回路电流;
- 5 准确度等级和暂态特性;
- 6 继电保护及测量的要求;
- 7 动稳定倍数;
- 8 热稳定倍数;
- 9 机械荷载;
- 10 温升。

题 4: 220kV 变电所, 一期 $2 \times 180\text{MVA}$ 主变, 远景 $3 \times 180\text{MVA}$ 主变。三相有载调压, 三相容量分别为 180/180/90, YNynd11 接线。调压 $230 + (+8 \sim -8) \times 1.25\% / 117\text{kV} / 37\text{kV}$, 百分电抗 $U_{k(1-2)}\% = 14$, $U_{k(1-3)}\% = 23$, $U_{k(2-3)}\% = 8$, 要求一期建成后, 任一主变停役, 另一台主变可保证承担负荷的 75%, 220kV 正序电抗标么值为 0.0068 (设 $S_B = 100\text{MVA}$), 110kV、35kV 侧无电源。(2009)

(1) 正序阻抗标么值 $X_{1\text{高}}$ 、 $X_{1\text{中}}$ 、 $X_{1\text{低}}$ 最接近 ()。

- (A) 0.1612 -0.0056 0.0944
(B) 0.0806 -0.0028 0.0472
(C) 0.0806 -0.0028 0.0944
(D) 0.2611 -0.0091 0.1529

答案: [B]

解答过程:

$$U_{k1}\% = \frac{1}{2}(U_{k(1-2)}\% + U_{k(3-1)}\% - U_{k(2-3)}\%) = \frac{1}{2} \times (14 + 23 - 8) = 14.5$$

$$U_{k2}\% = \frac{1}{2}(U_{k(1-2)}\% + U_{k(2-3)}\% - U_{k(3-1)}\%) = \frac{1}{2} \times (14 + 8 - 23) = -0.5$$

$$U_{k3}\% = \frac{1}{2}(U_{k(2-3)}\% + U_{k(3-1)}\% - U_{k(1-2)}\%) = \frac{1}{2} \times (8 + 23 - 14) = 8.5$$

$$X_1 = \frac{U_{k1}\% S_j}{100 S_e} = \frac{14.5}{100} \times \frac{100}{180} = 0.0806$$

$$X_2 = \frac{U_{k2}\% S_j}{100 S_e} = \frac{-0.5}{100} \times \frac{100}{180} = -0.0028$$

$$X_3 = \frac{U_{k3}\% S_j}{100 S_e} = \frac{8.5}{100} \times \frac{100}{180} = 0.0472$$

(2) 35kV 侧断路器额定电流最小选取 ()。

- (A) 1600A (B) 2500A (C) 3000A (D) 4000A

► 答案: [C]

► 解答过程: 1) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 9.2.1 条: “断路器的额定电压应不低于系统的最高电压; 额定电流应大于运行中可能出现的任何负荷电流”, 为此应先求出 35kV 侧变压器回路持续工作电流。

2) 题目要求一期建成后, 任一主变停役, 另一台主变可保证承担负荷的 75%, 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 6-3, 变压器回路的持续工作电流取 1.75 倍变压器额定电流, 即有

$$I_g = \frac{1.75 \times 90 \times 1000}{\sqrt{3} \times 35} \text{A} = 2598 \text{A}$$

故本题选 C。

(3) 计算 110kV 隔离开关动热稳定参数, 最小可用 (仅考虑三相短路)?

- (A) 热稳定 25kA, 动稳定 63kA
(B) 热稳定 31.5kA, 动稳定 80kA
(C) 热稳定 31.5kA, 动稳定 100kA
(D) 热稳定 40kA, 动稳定 100kA

► 答案: [A]

► 解答过程: 先画出系统电抗图, 如图 4-7 所示。

$$I_j = \frac{S}{\sqrt{3} \times U_j} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 115} \text{kA} = 0.502 \text{kA}$$

$$I'' = \frac{I_j}{X} = \frac{0.502}{\frac{0.0806 - 0.0028}{3} + 0.0068} \text{kA} = \frac{0.502}{0.0327} \text{kA} = 15.34 \text{kA}$$

$$K_{ch} = 1.8, i_{ch} = \sqrt{2} K_{ch} I'' = 2.55 \times 15.34 \text{kA} = 39.1 \text{kA}$$

故本题选 A。

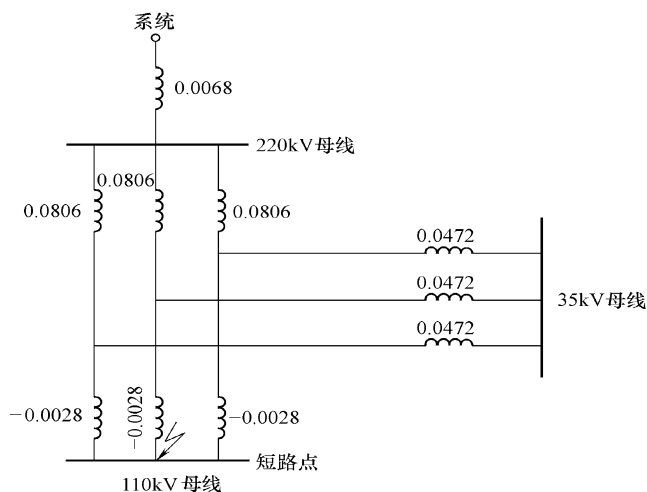


图 4-7 系统电抗图

(4) 站用变选择 37 (1 ± 5%) / 0.4kV, 630kVA, $U_d = 6.5\%$ 的油浸变。站用变低压屏电源进线额定电流和延时开断能力为 ()。

- (A) 800A $16I_e$ (B) 1000A $12I_e$
(C) 1250A $12I_e$ (D) 1500A $8I_e$

答案: [B]

解答过程: 根据《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002) 表 D2 或者根据式 (D1) 计算, 有

$$I'' = \frac{U}{\sqrt{3} \times \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times \sqrt{4.096^2 + 17.159^2}} \text{ kA} = 13.1 \text{ kA}$$

查表 D2 得变压器的额定电流 $I_e = 0.909 \text{ kA}$, 根据表 F2, 过电流脱扣器的灵敏度按下式进行计算:

$$\frac{I_d}{I_z} \geq 1.5 \Rightarrow I_z \leq \frac{I_d}{1.5} = \frac{13100}{1.5} \text{ A} = 8733.33 \text{ A}$$

$$\frac{I_z}{I_e} = \frac{8733}{909} = 9.6$$

综上所述, 本题的答案应该为 B。

(5) 35kV 母线电压互感器高压熔断器, 必须按照技术要求 () 选择。

- (A) 额定电压、开断电流
(B) 工频耐压、开断电流
(C) 额定电压、额定电流、开断电流
(D) 额定电压、开断电流、开断时间

答案: [A]

解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 17.0.8

条：“保护电压互感器的熔断器，只需按额定电压和开断电流选择”，故本题选 A。

题 5：某远离发电厂的终端变电所设有一台 110/38.5/10.5kV，20000kVA 主变压器。已知电源 S 为无穷大系统，变压器的 $U_{k(1-2)}\% = 10.5$ ， $U_{k(1-3)}\% = 17$ ， $U_{k(2-3)}\% = 6.5$ 。(2008)

(1) 试计算主变压器高 (X_1)、中 (X_2)、低 (X_3) 三侧等效标么值 ($S_j = 100\text{MV} \cdot \text{A}$ ， $U_j = U_p$) 为下列哪一组？

- (A) 0.525 0.325 0 (B) 0.525 0 0.325
(C) 10.5 0 6.5 (D) 10.5 6.5 0

► 答案：[B]

► 解答过程：

$$u_{k1}\% = \frac{1}{2}(U_{k(1-2)}\% + U_{k(3-1)}\% - U_{k(2-3)}\%) = \frac{1}{2} \times (10.5 + 17 - 6.5) = 10.5$$

$$u_{k2}\% = \frac{1}{2}(U_{k(1-2)}\% + U_{k(2-3)}\% - U_{k(3-1)}\%) = \frac{1}{2} \times (10.5 + 6.5 - 17) = 0$$

$$u_{k3}\% = \frac{1}{2}(U_{k(2-3)}\% + U_{k(3-1)}\% - U_{k(1-2)}\%) = \frac{1}{2} \times (6.5 + 17 - 10.5) = 6.5$$

$$X_1 = \frac{U_{k1}\%}{100} \times \frac{S_j}{S_e} = \frac{10.5}{100} \times \frac{100}{20} = 0.525$$

$$X_2 = \frac{U_{k2}\%}{100} \times \frac{S_j}{S_e} = \frac{0}{100} \times \frac{100}{20} = 0$$

$$X_3 = \frac{U_{k3}\%}{100} \times \frac{S_j}{S_e} = \frac{6.5}{100} \times \frac{100}{20} = 0.325$$

故本题选 B 为正确答案。

► 分析：本题为常考题型，需要熟练掌握。

(2) 计算主变器 10.5kV 回路的持续工作电流应为下列哪项数值？

- (A) 1101A (B) 1155A (C) 1431A (D) 1651A

► 答案：[B]

► 解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 6-3 规定：“对变压器回路，回路持续工作电流为 1.05 倍变压器额定电流”，即

$$I_g = \frac{1.05 S_N}{\sqrt{3} U_N} = \frac{1.05 \times 20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10.5} \text{A} = 1154.7 \text{A}$$

故本题选 B 为正确答案。

(3) 主变器 38.5kV 回路中的断路器额定电流、额定短路时耐受电流及持续时间额定值选下列哪组最合理？

- (A) 1600A 31.5kA 2s (B) 1250A 20kA 2s
(C) 1000A 20kA 4s (D) 630A 16kA 4s

► 答案：[D]

解答过程：1) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 6-3，对变压器回路，回路持续工作电流为 1.05 倍变压器额定电流，即

$$I_g = \frac{1.05 S_N}{\sqrt{3} U_N} = \frac{1.05 \times 20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 38.5} \text{A} = 315 \text{A}$$

故断路器额定电流可选 630A、1000A。

2) 求断路器的额定短时耐受电流及短路持续时间的额定值，为此先画出系统电抗图，如图 4-8 所示。

现在 K 点短路，则短路电流为

$$I_j = \frac{S_j}{\sqrt{3} U_j} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 38.5} \text{kA} = 1.5 \text{kA}$$

$$I'' = \frac{I_j}{X} = \frac{1.5}{0.525} \text{kA} = 2.86 \text{kA}$$

3) 根据《导体和电器选择设计技术规定》

(DL/T 5222—2005) 附录 F 式 (F.4.1-1)，冲击电流为 $i_{ch} = \sqrt{2} \times K_{ch} I'' = \sqrt{2} \times 1.8 \times 2.86 \text{kA} = 7.3 \text{kA}$ ，根据该规范第 9.2.6 条，断路器的额定关合电流，不应小于短路电流最大冲击值。

4) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 9.2.4 条，断路器的额定短时耐受电流等于额定短路开断电流，其持续时间在 110kV 及以下为 4s，在 220kV 及以上为 2s。故本题选 D。

分析：断路器的选择条件为

- 1) 额定电压和电流选择 $U_N \geq U_{SN}$ ， $I_N \geq I_{\max}$
- 2) 开断电流选择： $I_{Nbr} \geq I''$
- 3) 短路关合电流选择： $I_{Ncl} \geq i_{ch}$
- 4) 进行动热稳定的计算。

题 6：500kV 线路，充电功率为 170Mvar，工频过电压到 $1.39U_e$ 需要并联电抗器限制工频过电压，并在其中性点连接小电抗器补偿相应电容。(2008)

(1) 如果补偿取 70%，则在此线路装 500kV 并联电抗容量应取 ()。

- (A) 180 (B) 150 (C) 120 (D) 90

答案：[C]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (9-50) 有

$$Q_L = K_1 Q_C = 0.7 \times 170 \text{Mvar} = 119 \text{Mvar}$$

(2) 在此线路上装 500kV 并联电抗器的伏安特性曲线的拐点电压需大于下列何值？

- (A) $1.2U_e$ (B) $1.3U_e$ (C) $1.4U_e$ (D) $1.5U_e$

答案：[D]

解答过程：由《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 9-35，在我国 500kV 并联电抗器的拐点电压为 $1.5U_e$ 。

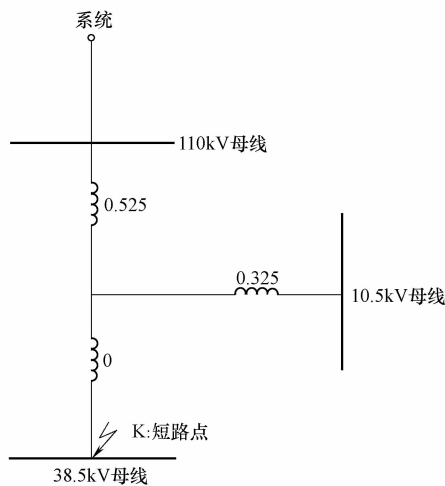


图 4-8 系统电抗图

表 9-35 国内外部分并联电抗器的伏安特性

特性	中国	中国	瑞典	法国	前苏联
电压(kV)	330	500	500	500	500
拐点电压(倍)	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5
拐点以下斜率	1	1	1	1	1
拐点以上斜率	28% ~ 30%	28%	44%	2/3	44%

注：拐点以下斜率取1为针对拐点以上斜率而言的相对值，实际斜率由电抗器容量确定，拐点以上斜率系针对拐点以下斜率的百分数，并非实际斜率。

87

题 7：某工厂的供电系统如图 4-9 所示，有两台 50MVA，110/10kV 变压器，阻抗电压为 $U_K\% = 10.5$ ，并列运行，接入 110kV 电网系统，系统短路容量 $S''_S = \infty$ 。送出线上装设限流电抗器，正常通过电抗器的负荷电流为 0.8kA，功率因数 $\cos\varphi = 0.8$ ，取 $S_j = 100\text{MVA}$ 。

(2) K_1 点的三相短路电流周期分量有效值 I''_K 为 ()。

- (A) 26.19kA (B) 87.24kA (C) 43.62kA (D) 52.38kA

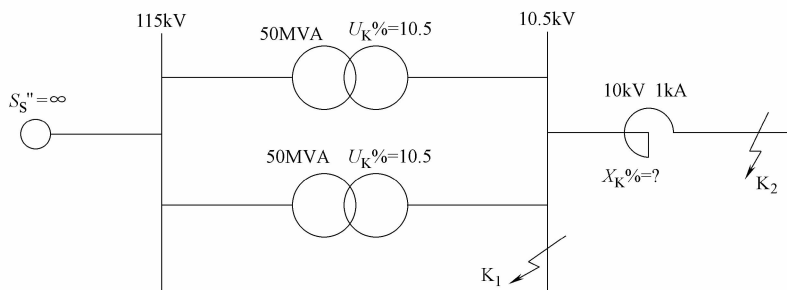


图 4-9 某工厂的供电系统

► 答案：[D]

► 解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 4-2、式 (4-20)，系统电抗图如图 4-10 所示。

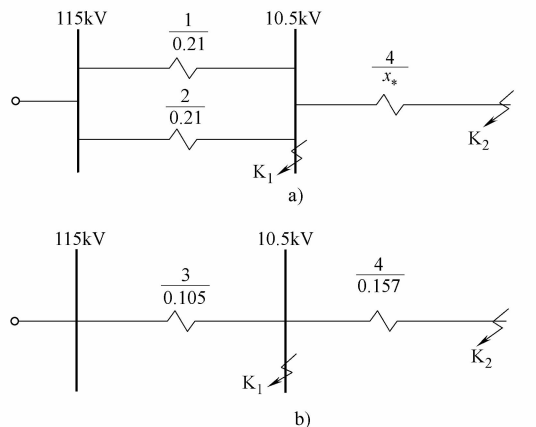


图 4-10 系统电抗图

$$x_1 = x_2 = x_{*d} = \frac{U_d \% S_j}{100 S_e} = \frac{10.5}{100} \times \frac{100}{50} = 0.21$$

$$x_3 = \frac{x_{*d}}{2} = \frac{0.21}{2} = 0.105$$

$$I_K'' = \frac{I_j}{x_3} = \frac{100}{0.105} = \frac{\sqrt{3} \times 10.5}{0.105} = \frac{5.5}{0.105} \text{ kA} = 52.38 \text{ kA}$$

表 4-2 电抗标么值和有名值的变换公式

序号	元件名称	标么值	有名值(Ω)	备注
1	发电机 调相机 电动机	$X_{*d}'' = \frac{X_d'' \%}{100} \times \frac{S_j}{P_e / \cos \varphi}$	$X_d'' = \frac{X_d'' \%}{100} \times \frac{U_j^2}{P_e / \cos \varphi}$	X_d'' 为电机次暂态电抗百分值。 P_e 为电机额定容量, 单位为 MW。
2	变压器	$X_{*d} = \frac{U_d \%}{100} \times \frac{S_j}{S_e}$	$X_d = \frac{U_d \%}{100} \times \frac{U_e^2}{S_e}$	U_d 为变压器短路电压的百分值。 S_e 系指最大容量绕组的额定容量, 单位为 MVA。
3	电抗器	$X_{*k} = \frac{X_k \%}{100} \times \frac{U_e}{\sqrt{3} I_e} \times \frac{S_j}{U_j^2}$	$X_k = \frac{X_k \%}{100} \times \frac{U_e}{\sqrt{3} I_e}$	X_k 为电抗器的百分电抗值, 分裂电抗器的自感电抗计算方法与此相同。 I_e 单位为 kA。
4	线路	$X_* = X \times \frac{S_j}{U_j^2}$	$X = X_0.1451 \lg \frac{D}{0.789r}$ $D = \sqrt[3]{d_{ab} d_{ac} d_{cb}}$	r —导体半径 (cm); D —导体相间的几何均距 (cm); d —相间距离

(2) 现想将 K_2 点的三相短路电流 I_K'' 限制到最大允许值 25kA, 则出线上装设限流电抗器的 x_K % 为 ()。

- (A) 3% (B) 4% (C) 5% (D) 6%

答案: [A]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (6-14)、式 (6-15)。

$$x_K \% \geq \left(\frac{I_j}{I''} - X_{*j} \right) \frac{I_{ek}}{U_{ek}} \frac{U_j}{I_j} \times 100 \% = \left(\frac{5.5}{25} - 0.105 \right) \times \frac{1 \times 10.5}{10 \times 5.5} \times 100 \% = 2.2 \%, \text{ 故选电抗}$$

百分值为 3% 的电抗器。

分析: 《电力工程电气设计手册 电气一次部分》关于电抗器百分数选择的计算 (见 P253) 有两个公式, 答题时需根据已有具体条件, 灵活使用, 现摘录如下:

(一) 普通电抗器的电抗百分值选择

普通电抗器的电抗百分值应按下列条件选择和校验:

(1) 将短路电流限值到要求值。此时所必需的电抗器的百分值 ($X_k\%$) 按下式计算:

$$X_k\% \geq \left(\frac{I_j}{I''} - X_{*j} \right) \frac{I_{ek} U_j}{U_{ek} I_j} \times 100\% \quad (6-14)$$

$$\text{或} \quad x_k\% \geq \left(\frac{S_j}{S''} - X_{*j} \right) \frac{I_{ek} U_j}{U_{ek} I_j} \times 100\% \quad (6-15)$$

式中 U_j ——基准电压 (kV);

I_j ——基准电流 (A);

X_{*j} ——以 U_j 、 I_j 为基准, 从网络计算至所选用电抗器前的电抗标么值;

S_j ——基准容量 (MVA);

U_{ek} ——电抗器的额定电压 (kV);

I_{ek} ——电抗器的额定电流 (A);

I'' 、 S'' ——被电抗限制后所要求的短路次暂态电流 (kA) 及零秒短路容量 (MVA)。

(3) 根据上述所选电抗器后, K_2 点的三相短路电流周期分量有效值 $I_{K''}$ 被限制到 ()。

- (A) 17.49kA (B) 14.99kA (C) 21kA (D) 13.12kA

答案: [C]

解答过程:

$$\therefore x_4 = x_{*K} = \frac{x_k\% U_{ek} I_j}{100 I_{ek} U_j} = \frac{3}{100} \times \frac{10 \times 5.5}{1 \times 10.5} = 0.157$$

$$\therefore I_{K''} = \frac{I_j}{x_3 + x_4} = \frac{5.5}{0.105 + 0.157} \text{kA} = 21 \text{kA}$$

(4) K_2 点三相短路时 10kV 母线的剩余电压为 ()。

- (A) 73.5% (B) 63% (C) 84% (D) 52.5%

答案: [B]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 6-17 有:

K_2 点三相短路时 10kV 母线的剩余电压为:

$$u_y\% = x_k\% \frac{I''}{I_{ek}} = 3\% \times \frac{21}{1} = 63\%$$

分析: 《电力工程电气设计手册 电气一次部分》关于短路时母线上剩余电压的计算 (见 P253), 现摘录如下:

(3) 校验短路时母线上的剩余电压。

当出线电抗器的继电保护装置带有时限时，应按在电抗器后发生短路计算，并按下式校验：

$$U_y \% = X_K \% \frac{I_n}{I''} = X_K \% \frac{I''}{I_{ek}} \quad (6-17)$$

式中 $U_y \%$ ——母线必须保持的剩余电压，一般为 60% ~ 70%。若电抗器接在 6kV 发电机主母线上，则母线剩余电压应尽量取上限值。

90

(5) 限流电抗器上通过正常负荷电流时的电压损失为 ()。

- (A) 1.92% (B) 2.4% (C) 2.88% (D) 1.44%

答案：[D]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (6-16) 可得

$$\Delta u \% = x_K \% \frac{I_g}{I_{ek}} \sin \varphi = 3 \% \times \frac{0.8}{1} \times 0.6 = 1.44 \%$$

分析：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》关于正常工作时电抗器上的电压损失 ($\Delta u \%$) 的计算 (见 P253)，现摘录如下：

(2) 正常工作时电抗器上的电压损失 ($\Delta U \%$) 不宜大于额定电压的 5%，可由图 6-3 查得或按下式计算：

$$\Delta U \% = x_K \% \frac{I_g}{I_{ek}} \sin \varphi \quad (6-16)$$

式中 I_g ——正常通过的工作电流 (A)；

φ ——负荷功率因数角 (一般 $\cos \varphi = 0.8$)。

对出线电抗器尚应计及出线上的电压损失。

题 8：某 110/10kV 变电所，变电器容量为 $2 \times 25\text{MVA}$ 。两台变压器一台工作一台备用。变电所的计算负荷为 17000kVA。变压器采用室外布置，10kV 设备采用室内布置。变电所所在地海拔高度为 2000m，户外设备运行的环境温度为 $-25^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$ 。且冬季时有冰雪天气，且在最大运行方式下 10kV 母线的三相稳态短路电流有效值为 20kA (回路的总电阻小于总电抗的三分之一)，请解答下列问题：(供配电 2013)

(1) 若 110/10kV 变电所 10kV 出线间隔采用 10kV 真空断路器，断路器在正常环境下额定电流为 630A、周围空气温度为 40°C 时的允许温升为 20°C 。请确定该断路器在本工程所在地区环境条件下及环境温度 5°C 时的额定电流和 40°C 时允许温升为下列哪组数值？

- (A) 740A, 19℃ (B) 740A, 20℃
(C) 630A, 19℃ (D) 630A, 20℃

► 答案: [A]

► 解答过程: 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 5.0.3 条。

5.0.3 电器的正常使用环境条件规定为: 周围空气温度不高于 40℃, 海拔不超过 1000m。当电器使用在周围空气温度高于 40℃ (但不高于 60℃) 时, 允许降低负荷长期工作。推荐周围空气温度每增高 1K, 减少额定电流负荷的 1.8%; 当电器使用在周围空气温度低于 +40℃ 时, 推荐周围空气温度每降低 1K, 增加额定电流负荷的 0.5%, 但其最大过负荷不得超过额定电流负荷的 20%; 当电器使用在海拔超过 1000m (但不超过 4000m) 且最高周围空气温度为 40℃ 时, 其规定的海拔每超过 100m (以海拔 1000m 为起点) 允许温升降低 0.3%。

故有 $I_{50℃} = I[1 + (40 - 5) \times 0.5\%] = 630 \times 1.175 \text{ A} = 740.25 \text{ A}$

$$T = T' \left(1 - \frac{2000 - 1000}{100} \times 0.3\% \right) = 20 \times 0.97\% = 19.4\% \approx 19\%$$

(2) 110/10kV 变电所 10kV 供电线路中, 电缆总长度约为 32km, 无架空地线的钢筋混凝土电杆架空线路 10km, 若采用消弧线圈经接地变压器接地, 使接地故障点的残余电流小于等于 10A。请确定消弧线圈的容量 (计算值) 应为下列哪项数值?

- (A) 32.74 kVA (B) 77.94 kVA
(C) 251.53 kVA (D) 284.26 kVA

► 答案: [D]

► 解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》公式 (6-33)、公式 (6-34), 架空线 (无架空地线) 提供的电容电流为:

$$I_{C1} = 2.7UL \times 10^{-3} = 2.7 \times 10 \times 10 \times 10^{-3} \text{ A} = 0.27 \text{ A}$$

电缆提供的电容电流: $I_{C2} = 0.1UL = 0.1 \times 10 \times 32 \text{ A} = 32 \text{ A}$

总电容电流: $I_C = 1.16 \times (I_{C1} + I_{C2}) = 1.16 \times (32 + 0.27) \text{ A} \approx 32.27 \text{ A}$ (考虑变电所增加的接地电容电流)

根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 18.1.4 条和 18.1.6 条有:

$$Q = KI_C \frac{U_N}{\sqrt{3}} \leq \frac{1.35 \times 37.43 \times 10}{\sqrt{3}} \text{ kVA} \approx 291.74 \text{ kVA}$$

依题意, 残余电流小于等于 10A, 最接近的答案为 D。

► 分析: 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 18.1.4、18.1.6 内容如下:

18.1.4 消弧线圈的补偿容量，可按式计算：

$$Q = KI_c \frac{U_N}{\sqrt{3}} \quad (18.1.4)$$

式中：

Q ——补偿容量，kVA；

K ——系数，过补偿取 1.35，欠补偿按脱谐度确定；

I_c ——电网或发电机回路的电容电流，A；

U_N ——电网或发电机回路的额定线电压，kV。

为便于运行调谐，宜选用容量接近于计算值的消弧线圈。

18.1.6 装在电网的变压器中性点的消弧线圈，以及具有直配线的发电机中性点的消弧线圈应采用过补偿方式。

(3) 若 110/10kV 变电所的 10kV 系统的电容电流为 35A，阻尼率取 3%。试计算当脱谐度和长时间中性点位移电压满足规范要求且采用补偿方式时，消弧线圈的电感电流取值范围为下列哪项目数值？

(A) 31.50 ~ 38.50A

(B) 35.0 ~ 38.50A

(C) 34.25 ~ 36.75A

(D) 36.54 ~ 38.50A

答案：[D]

解答过程：已经 $d = 3\%$ ，根据《导体和电器选择设计规定》（DL/T 5222—2005）

第 18.1.7 条。要满足中性点电压位移和脱谐度的要求，即要求有： $U_0 \leq 15\% \frac{U_N}{\sqrt{3}}$ ， $v \leq 10\%$ 。

1) 首先满足中性点电压位移的要求，带入已知量有

$$\begin{aligned} \frac{U_{bd}}{\sqrt{d^2 + v^2}} &= \frac{0.8\% \frac{U_N}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(3\%)^2 + v^2}} \leq 15\% \frac{U_N}{\sqrt{3}} \\ \Rightarrow \sqrt{(3\%)^2 + v^2} &\geq \frac{0.8\%}{15\%} \\ \Rightarrow 0.0009 + v^2 &\geq 0.00283 \\ \Rightarrow v &\geq 0.0439 \text{ 或者 } v \leq -0.0439 \end{aligned}$$

从而有：

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{I_c - I_L}{I_c} &\geq 0.0439 \text{ 或者 } \frac{I_c - I_L}{I_c} \leq -0.0439 \\ \Rightarrow I_L &\leq 33.46A \text{ 或者 } I_L \geq 36.53A \end{aligned}$$

2) 其次要满足脱谐度的要求，有

$$|v| \leq 10\%$$

$$\Rightarrow -0.1 \leq \frac{I_C - I_L}{I_C} \leq 0.1$$

$$\Rightarrow 0.9I_C \leq I_L \leq 1.1I_C$$

$$\Rightarrow 31.5\text{A} \leq I_L \leq 38.5\text{A}$$

综上所述，只有 D 答案符合要求。

► 分析：《导体和电器选择设计规定》（DL/T 5222—2005）18.1.7 条内容如下：

93

18.1.7 中性点经消弧线圈接地的电网，在正常情况下，长时间中性点位移电压不应超过额定相电压的 15%，脱谐度一般不大于 10%（绝对值），消弧线圈分接头宜选用 5 个。

中性点经消弧线圈接地的发电机，在正常情况下，长时间中性点位移电压不应超过额定相电压 10%，考虑到限制传递过电压等因素，脱谐度不宜超过 $\pm 30\%$ ，消弧线圈的分接头应满足脱谐度的要求。

中性点位移电压可按式计算：

$$U_0 = \frac{U_{bd}}{\sqrt{d^2 + v^2}} \quad (18.1.7)$$

式中：

$$v = \frac{I_C - I_L}{I_C}$$

U_0 ——中性点位移电压，kV；

U_{bd} ——消弧线圈投入前电网或发电机回路中性点不对称电压，可取 0.8% 相电压；

d ——阻尼率，一般对 (60 ~ 110) kV 架空线路取 3%，35kV 及以下架空线路取 5%，电缆线路取 (2 ~ 4)%；

v ——脱谐度；

I_C ——电网或发电机回路的电容电流，A；

I_L ——消弧线圈电感电流，A。

(4) 110/10kV 变压器 10kV 出线经过穿墙套管引入室内。试确定穿墙套管的额定电压、额定电流宜为下列哪组数值？

- (A) 20kV, 1600A (B) 20kV, 1000A
(C) 10kV, 1600A (D) 10kV, 1000A

► 答案：[A]

► 解答过程：《导体和电器选择设计规定》（DL/T 5222—2005）第 21.0.1、21.0.2、21.0.3 条。

- 1 电压;
- 2 动稳定;
- 3 绝缘水平;
- 4 机械荷载。

21.0.2 穿墙套管应按下列技术条件选择和校验:

- 1 电压;
- 2 电流;
- 3 动稳定;
- 4 热稳定电流及持续时间。

- 1 环境温度;
- 2 日温差;
- 3 最大风速;
- 4 相对湿度;
- 5 污秽;
- 6 海拔高度;
- 7 地震烈度。

21.0.4 发电厂与变电所的 (3~20)kV 屋外支柱绝缘子和穿墙套管, 当有冰雪时, 宜采用高一电压的产品。对 (3~6)kV 者, 也可采用提高两级电压的产品。

(5) 110/10kV 变压器 10kV 出线穿墙套管引入室内，三相矩形母线水平布置，已知穿墙套管与最近的一组母线支撑绝缘子的距离为 800mm，穿墙套管的长度为 500mm，相间距离为 300mm，绝缘子上受力的折算系统系数取 1。试确定穿墙套管的最小弯曲破坏负荷为下列哪项数值？

- (A) 500N
(B) 1000N
(C) 2000N
(D) 4000N

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 6-27 和表 6-40，
路动稳定校验支柱绝缘子和穿墙套管，可得：

$$P \leq 0.6 P_{\text{XII}}$$

$$\Rightarrow P_{xu} \geq \frac{P}{0.6} = \frac{K_f F}{0.6} = \frac{K_f \times 1.76 \times 10^{-1} \times \frac{i_{ch}^2 L}{a}}{0.6} = \frac{1.76 \times 10^{-1} \times \frac{i_{ch}^2 L}{a}}{0.6}$$

$$= \frac{1.76 \times 10^{-1} \times \frac{(2.55 \times 20)^2}{300} \times \frac{800 + 500}{2}}{0.6} \text{ N} = 1653 \text{ N}$$

题 9: 某企业电网先期装有四台发电机 ($2 \times 30\text{MW} + 2 \times 42\text{MW}$), 后期扩建 2 台 300MW 机组, 通过 2 回 330kV 线路与主网相连。主设备参数如下表所列。该企业电网的电气主接线如图 4-11 所示。(2013)

设备名称	参 数		备注
#1、#2 发电机	42MW	$\cos\varphi = 0.8$ 机端电压 10.5kV	余热利用机组
#3、#4 发电机	30MW	$\cos\varphi = 0.8$ 机端电压 10.5kV	煤气发电机组
#5、#6 发电机	300MW	$X''_d = 16.7\%$ $\cos\varphi = 0.85$	燃煤机组
#1、#2、#3 主变	额定容量 80/80/24MVA	额定电压 110/35/10kV	
#4、#5、#6 主变	额定容量 240/240/72MVA	额定电压 345/121/35kV	

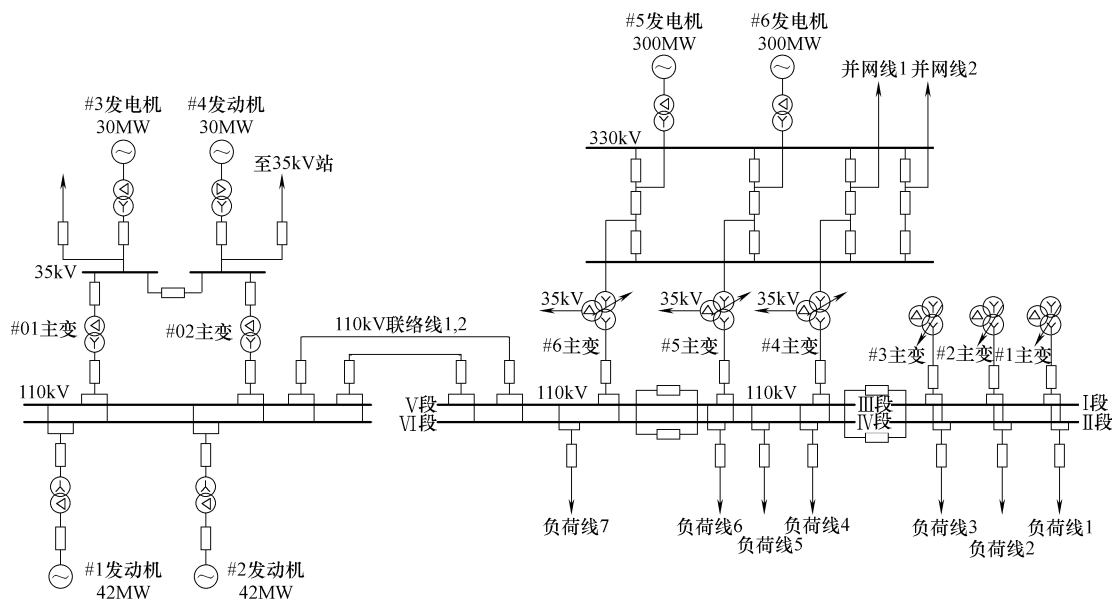


图 4-11

(1) #5、#6 发电机采用发电机变压器组接入 330kV 配电装置，主变压器参数为 360MVA，330/20kV， $U_K = 16\%$ 。当 330kV 母线发生三相短路时，计算由一台 300MW 机组提供的短路电流周期分量起始有效值最接近下列哪项数值？

- (A) 1.67kA (B) 1.82kA
(C) 2.00kA (D) 3.45kA

答案：[C]

依据：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 4-2 可以求出变压器和发电机的电抗标幺值为

$$X_d^* = \frac{U_d\%}{100} \times \frac{S_j}{S_e} = \frac{16}{100} \times \frac{100}{360} = 0.044$$

$$X_d''^* = \frac{X_d''\%}{100} \times \frac{S_j}{P_e/\cos\varphi} = \frac{16.7}{100} \times \frac{100}{300/0.85} = 0.047$$

$$X = X_d^* + X_d''^* = 0.044 + 0.047 = 0.091$$

$$\text{根据式 4-18 可求出计算电抗 } X_{js} = X \frac{S_\Sigma^*}{S_B} = X \frac{P_N/\cos\varphi}{S_B} = 0.091 \times \frac{300/0.85}{100} = 0.321$$

查表 4-7 可得发电机 0s 时的短路电流的标幺值为 $I_* = 3.368$

$$\text{再求出发电机提供的基准电流 } I_B = \frac{P_N/\cos\varphi}{\sqrt{3}U_B} = \frac{300/0.85}{\sqrt{3} \times 345} \text{ kA} = 0.59 \text{ kA}$$

则由 300MW 发电机提供的短路电流为 $I = I_* I_B = 0.59 \times 3.368 \text{ kA} \approx 1.987 \text{ kA}$

分析：本题仅考查由一台 300MW 机组提供的短路电流，难度较由 6 台机组提供短路电流有了很大的降低。但本题也考查了以前没有考查过的内容，就是由有限电源提供的短路电流的计算。需要经过网络变换，求出计算电抗，查运算曲线或运算曲线数字表求出相应时间的短路电流标幺值，再乘以基准电流，就可以求出由有限电源提供的短路电流。短路电流相关计算内容丰富，题型灵活多变，需全面掌握。

(2) 若该企业 110kV 电网全部并列运行，将导致 110kV 系统三相短路电流（41kA）超出现有电气设备的额定开断能力，请确定为限制短路电流下列哪种方式最为安全合理经济？并说明理由。

- (A) 断开 I 回与 330kV 主系统的联网线
(B) 断开 110kV 母线 I、II 段与 III、IV 段分段断路器
(C) 断开 110kV 母线 III、IV 段与 V、VI 段分段断路器
(D) 更换 110kV 系统相关电气设备

答案：[C]

解答过程：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 119 页第三条第三款的限流措施。

发电厂和变电所中可以采取的限流措施：

- (1) 发电厂中，在发电机电压母线分段回路中安装电抗器。
(2) 变压器分裂运行。

- (3) 变电所中, 在变压器回路中装设分裂电抗器或电抗器。
 (4) 采用低压侧为分裂绕组的变压器。
 (5) 出线上装设电抗器。

根据答案的情况, A 答案若断开 1 回与 330kV 主系统的联网线, 则与主网的联系显得比较薄弱, 不利于系统的稳定运行。B 答案采取断开 110kV 母线 I、II 段与 III、IV 段分段断路器的做法, 由于母线 I、II 仅带负荷出线, 在短路时不能提供短路电流, 因而对限制短路电流起不到作用。C 答案采取断开 110kV 母线 III、IV 段与 V、VI 段分段断路器的做法, 系统不解列运行, 但却能有效限制短路电流, 因此 B 答案错误, C 答案正确。更换 110kV 系统相关设备代价太高, 显然也不是经济合理的措施。

(3) 如果 330kV 并网线路长度为 80km, 采用 $2 \times 400\text{mm}^2$ 导线, 同塔双回架设, 充电功率为 0.41Mvar/km。根据无功平衡要求, 330kV 三圈变的 35kV 侧需配置电抗器。若考虑充电功率由本站全部补偿, 请计算电抗器的容量应为下列哪项值?

- (A) $1 \times 30\text{Mvar}$ (B) $2 \times 30\text{Mvar}$ (C) $3 \times 30\text{Mvar}$ (D) $2 \times 60\text{Mvar}$

► 答案: [B]

► 依据: 解法 1): 《电力系统设计手册》式 (8.3), 变电所或发电厂的电抗器补偿总容量 Q_{kb} 可按式计算:

$$Q_{kb} = \frac{l}{2} q_c B = \frac{2 \times 80}{2} \times 0.41 \times 0.9 \text{Mvar} = 29.52 \text{Mvar}$$

题目要求全部充电功率由本站补偿, 而上式仅考虑补偿系统一半的充电功率, 故应该取 2 倍, 因此答案为 B。

解法 2): 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (9-50) 有

$$Q_L = KlQ_c = (0.4 \sim 0.8) \times 80 \times 2 \times 0.41 \text{Mvar} = (26.24 \sim 52.48) \text{Mvar}$$

这个结果乘以 2, B 答案也在这个范围之内。

► 分析: 电抗器的选择在 2011 年也曾经考过, 可见历年真题要熟练掌握。

(4) 若正常运行方式下, 110kV 母线的短路电流为 29.8kA, 10kV 母线短路电流为 18kA, 若 10kV 母线装设无功补偿电容器组, 请计算电容器的分组容量应取下列哪项数值?

- (A) 13.5Mvar (B) 10Mvar
 (C) 8Mvar (D) 4.5Mvar

► 答案: [C]

► 依据: 根据《35kV ~ 220kV 变电站无功补偿装置设计技术规定》(DL/T 5242—2010) 第 5.0.7.2 条, 投切一组电容器或电抗器所引起接入母线电压的变动值, 不宜超过其额定电压的 2.5%。又根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 条文说明第 5.2.2 条, 并联电容器装置投入电网后引起的母线电压升高值可按式计算:

$$\Delta U_s = U_{s0} \frac{Q}{S_d} = 10 \times \frac{Q}{\sqrt{3} \times 10.5 \times 18} \leq 2.5\% \times 10$$

$$\Rightarrow Q \leq \sqrt{3} \times 10.5 \times 18 \times 2.5\% \text{Mvar} \approx 8.18 \text{Mvar}$$

(5) 本企业电网 110kV 母线接有轧钢类钢铁负荷，负序电流为 68A，若 110kV 母线三相短路容量 1282MVA，请计算该母线负序电压不平衡度为下列哪项数值？

- (A) 0.61% (B) 1.06%
(C) 2% (D) 6.1%

答案：[B]

依据：根据《电能质量 三相电压不平衡》（GB/T 15543—2008）公式 A.3 有

$$\varepsilon_{U2} = \frac{\sqrt{3} I_2 U_L}{S_k} \times 100\% = \frac{\sqrt{3} \times 68 \times 110 \times 10^3}{1282 \times 10^6} \times 100\% \approx 1.01\%$$

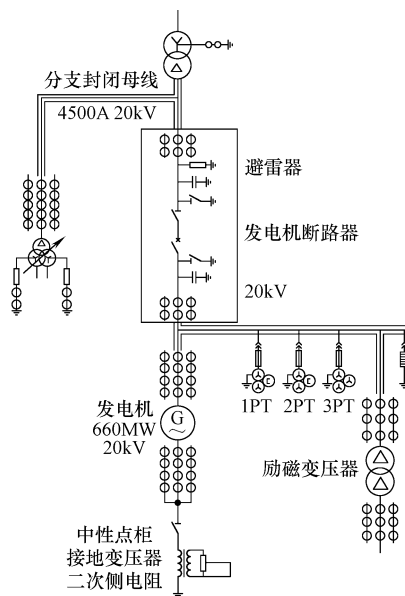
题 10：某 660MW 汽轮发电机组，其电气接线如下图所示。图中发电机额定电压为 $U_N = 20\text{kV}$ ，最高运行电压 $1.05U_N$ 。已知当发电机出口发生短路时，发电机至短路点的最大故障电流为 114kA，系统至短路点的最大故障电流为 102kA，发电机系统单相相对地电容电流为 6A，采用发电机中性点经单相变压器二次侧电阻接地的方式，其二次侧电压为 220V，根据上述已知条件，回答下列问题：（2013）

(1) 根据上述已知条件，选择发电机中性点变压器二次侧接地电阻，其阻值应为下列何值？

- (A) 0.635Ω (B) 0.698Ω (C) 1.10Ω (D) 3.81Ω

答案：[A]

解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 18.2.5 条第 2 款，经单相配电变压器接地，电阻的额定电压应不小于变压器二次侧电压，一般选用 110V 或 220V（根据题干，本题为 220V）。



$$\text{变比: } n_{\varphi} = \frac{U_N \times 10^3}{\sqrt{3} U_{N2}} = \frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220} \approx 52.49$$

$$\text{电阻值: } R_{N2} = \frac{U_N \times 10^3}{1.1 \times \sqrt{3} I_c n_{\varphi}^3} = \frac{20 \times 10^3}{1.1 \times \sqrt{3} \times 6 \times 52.49^2} \Omega = 0.635 \Omega$$

(2) 假设发电机中性点接地电阻为 0.55Ω ，接地变压器的过负荷系数为 1.1 ，选择发电机中性点接地变压器，计算其变压器容量应为下列何值？

- (A) 80kVA (B) 76.52kVA
(C) 50kVA (D) 40kVA

答案：[A]

解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 18.2.5 条第 2 款、第 18.3.4 条第 3 款。

单相接地变压器的容量（kVA）：

$$S_N = \frac{1}{K} U_2 I_2 = \frac{U_N}{\sqrt{3} K n_{\varphi}} I_2 = \frac{20}{\sqrt{3} \times 1.1 \times 52.49} \times \frac{220}{0.55} \text{kVA} \approx 80 \text{kVA} \quad (\text{本题用到了上一题的变比 } 52.49)$$

(3) 电气接线图中发电机出口断路器的系统侧装设有一组避雷器，计算确定这组避雷器的额定电压和持续运行电压应取下列那组数值？（假定主变低压侧系统最高电压不超过发电机最高运行电压）

- (A) 21kV 16.8kV (B) 26.25kV 21kV
(C) 28.98kV 23.1kV (D) 28.98kV 21kV

答案：[B]

解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）表 20.1.7，无间隙金属氧化物避雷器额定电压和持续运行电压分别为

$$1.25 U_{\text{mg}} = 1.25 \times 1.05 \times 20 \text{kV} = 26.25 \text{kV}$$

$$U_{\text{mg}} = 1.05 \times 20 \text{kV} = 21 \text{kV}$$

(4) 计算上图中厂用变高压侧封闭母线所承受的最小动稳定电流为下列何值？

- (A) 581.04kA (B) 589.65kA
(C) 565.12kA (D) 566.76kA

答案：[C]

解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）表 F.4.1（或《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 4-15），发电机端短路，短路冲击系数为 1.9，远离发电厂地点短路，短路冲击系数取 1.8。根据 F.4.1-1 式，冲击电流为

$$i_{\text{ch}} = \sqrt{2} K_{\text{ch}} I'' = \sqrt{2} (1.9 \times 114 + 1.8 \times 102) \text{kA} \approx 565.9 \text{kA} \quad (\text{短路电流由发电机和系统共同提供})$$

第五章 导体及电缆的设计选择

一、大纲要求 ★★★

- 1) 掌握导体的选择及设计要求;
- 2) 熟悉电缆的选择;
- 3) 掌握电缆敷设设计要求。

100

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 20 分,其中专业知识占 8 分左右,案例占 12 分左右。考点分布较广,考试题目有一定难度。答题依据主要有《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第八章、《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)、《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)。重点考查导体选择及设计、电缆选择、电缆敷设设计等内容。

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

(1) 某 220kV 变电站的控制电缆的绝缘水平选用下列哪种是经济合理的?(2012)

- (A) 110/220V (B) 220/380V (C) 450/750V (D) 600/1000V

答案: [C]

依据:《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 第 3.3.5 条第 2 款。

3.3.5 控制电缆额定电压的选择,不应低于该回路工作电压,并应符合下列规定:

1 沿高压电缆并行敷设的控制电缆(导引电缆),应选用相适合的额定电压。

2 220kV 及以上高压配电装置敷设的控制电缆,应选用 450/750V。

3 除上述情况外,控制电缆宜选用 450/750V;外部电气干扰影响很小时,可选用较低的额定电压。

(2) 某变电站 10kV 回路工作电流为 1000A,采用单片规格为 80×8 的铝排进行无镀层接头接触面,请问下列搭接处的电流密度哪一项是经济合理的?(2012)

- (A) 0.078A/mm² (B) 0.147A/mm² (C) 0.165A/mm² (D) 0.226A/mm²

答案: [C]

依据:《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 表 7.1.10。

表 7.1.10 无镀层接头接触面的电流密度			A/mm ²
工作电流 A	J_{Cu} (铜-铜)	J_{Al} (铝-铝)	
<200	0.31	$J_{Al} = 0.78J_{Cu}$	
200 ~ 2000	$0.31 - 1.05(I - 200) \times 10^{-4}$		
>2000	0.12		
注: I 为回路工作电流。			

对于本题，由于是铝-铝无镀层接头接触面，故有

$$\begin{aligned} J_{Al} &= 0.78J_{Cu} = 0.78 \times [0.31 - 1.05(I - 200) \times 10^{-4}] \\ &= 0.78 \times [0.31 - 1.05 \times (1000 - 200) \times 10^{-4}] \text{ A/mm}^2 \\ &= 0.176 \text{ A/mm}^2 \end{aligned}$$

分析：若是铜-铜接头，则刚好为 D 答案。

(3) 在变电站或发电厂的设计中，作为载流导体的钢母线适合于下列哪种场合？(2012)

- (A) 持续工作电流较大的场合
- (B) 对铝有严重腐蚀的重要场合
- (C) 额定电流小而短路电动力较大的场合
- (D) 大型发电机出线端部

答案：[C]

依据：《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 7.1.3 条。

7.1.3 载流导体一般选用铝、铝合金或铜材料；对持续工作电流较大且位置特别狭窄的发电机出线端部或污秽对铝有较严重腐蚀的场所宜选铜导体；钢母线只在额定电流小而短路电动力大或不重要的场合下使用。

(4) 关于电缆支架选择，以下哪项是不正确的？(2012)

- (A) 工作电流大于 1500A 的单芯电缆支架不宜选用钢制
- (B) 金属制的电缆支架应有防腐处理
- (C) 电缆支架的强度，应满足电缆及其附件荷重和安装维护的受力可能短暂上人时，计入 1000N 的附加集中荷载
- (D) 在户外时，计入可能有覆冰、雪和大风的附加荷载

答案：[C]

依据：《电力工程电缆设计规范》(DL/T 50217—2007) 第 6.2.2、6.2.3、6.2.4 条。

6.2.2 电缆支架除支持工作电流大于 1500A 的交流系统单芯电缆外，宜选用钢制。在强腐蚀环境，选用其他材料电缆支架、桥架，应符合下列规定：

- 1 电缆沟中普通支架（臂式支架），可选用耐腐蚀的刚性材料制。
- 2 电缆桥架组成的梯架、托盘，可选用满足工程条件阻燃性的玻璃钢制。
- 3 技术经济综合较优时，可选用铝合金制电缆桥架。

6.2.3 金属制的电缆支架应有防腐蚀处理，且应符合下列规定：

1 大容量发电厂等密集配置场所或重要回路的钢制电缆桥架，应从一次性防腐处理具有的耐久性，按工程环境和耐久要求，选用合适的防腐处理方式。

在强腐蚀环境，宜采用热浸锌等耐久性较高的防腐处理。

2 型钢制臂式支架，轻腐蚀环境或非重要性回路的电缆桥架，可用涂漆处理。

6.2.4 电缆支架的强度，应满足电缆及其附件荷重和安装维护的受力要求，且应符合下列规定：

- 1 有可能短暂上人时，计入 900N 的附加集中荷载。
- 2 机械化施工时，计入纵向拉力、横向推力和滑轮重量等影响。
- 3 在户外时，计入可能有覆冰、雪和大风的附加荷载。

根据第 6.2.2 条可知 A 答案正确；根据第 6.2.3 条可知 B 答案正确；根据第 6.2.4 条可知 C 答案错误；根据第 6.2.4 条第 3 款可知 D 答案正确。本题选不正确的答案，故选 C。

(5) 验算某 110kV 终端变电站管母线短路动稳定时，若已知母线三相短路电流，请问冲击系数 K_{ch} 推荐值应选下列哪个数值？（2011）

- (A) 1.9 (B) 1.8 (C) 1.85 (D) 2.55

答案：[B]

依据：《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）表 F.4.1：因终端变远离发电厂，故取 $K_{ch} = 1.8$ 。

(6) 变电所中，支柱绝缘子的力学安全系数，在荷载长期作用下和短时作用下，应是下列哪一项？（2011）

- (A) 45、2.5 (B) 2.0、1.67 (C) 1.6、1.4 (D) 2.5、1.67

答案：[D]

依据：《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）第 7.1.8 条。

7.1.8 在正常运行和短路时，电气设备引线的最大作用力不应大于电气设备端子允许的荷载。屋外配电装置的导体、套管、绝缘子和金具，应根据当地气象条件和不同受力状态进行力学计算。其安全系数不应小于表 7.1.8 的规定。

表 7.1.8 导体和绝缘子的安全系数

类别	荷载长期作用时	荷载短时作用时
套管、支持绝缘子	2.5	1.67
悬式绝缘子及其金具	4	2.5
软导体	4	2.5
硬导体	2.0	1.67

注:1. 悬式绝缘子的安全系数应对应与 1h 机电实验荷载,而不是破坏荷载。若是后者,安全系数则分别应为 5.3 和 3.3。
2. 硬导体的安全系数对应于破坏应力,若应对与屈服点应力,其安全系数应分别改为 1.6 和 1.4。

(7) 发电厂、变电所中,选择屋外导体的环境条件,下列哪一条是不正确的?(2011)

- (A) 发电机引出线的封闭母线可不校验日照的影响
- (B) 发电机引出线的组合导线应校验日照的影响
- (C) 计算导体日照的附加温升时,日照强度取 $0.1\text{W}/\text{cm}^2$
- (D) 计算导体日照的附加温升时,风速取 $0.5\text{m}/\text{s}$

答案: [B]

依据:《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 6.0.3 条。

6.0.3 选择屋外导体时,应考虑日照影响。对于按经济电流密度选择的屋外导体,如发电机引出线的封闭母线、组合导线等,可不校验日照的影响。

计算导体日照的附加温升时,日照强度取 $0.1\text{W}/\text{cm}^2$,风速取 $0.5\text{m}/\text{s}$ 。

(8) 某变电所中,10kV 户内配电装置的主母线工作电流是 2000A,主母线选用矩形铝母线、平放。按正常工作电流双片铝排最小应选为 ()。(海拔为 900m,最热月平均最高温度为 +25℃)(2011)

- (A) $2 \times (100 \times 6.3\text{mm}^2)$
- (B) $2 \times (100 \times 8\text{mm}^2)$
- (C) $2 \times (100 \times 10\text{mm}^2)$
- (D) $2 \times (125 \times 8\text{mm}^2)$

答案: [B]

依据: 1) 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 6.0.2 条及表 6.0.2 可知对于安装在屋内的裸导体,环境最高温度应取该处的通风设计温度。当无资料时,可取最热月平均最高温度加 5℃。本题中已知最热月平均最高温度为 25℃,故环境最高温度应取 30℃。2) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 表 D.11 可得对屋内矩形导体海拔 900m,环境温度为 30℃的裸导体载流量在不同海拔及环境温度下的综合校正系数为 0.94。根据表 D.9,选择 $2 \times (100 \times 8\text{mm}^2)$ 的平放矩形导体即可满足要求。

表 D.11 裸导体载流量在不同海拔高度及环境温度下的综合校正系数

导体最高 允许温度 ℃	适用范围	海拔高度 m	实际环境温度 ℃						
			+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
+70	屋内矩形、槽形、管形导体和不计日照的屋外软导线		1.05	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67
+80	计及日照时屋外软导线	1000 及以下	1.05	1.00	0.94	0.89	0.83	0.76	0.69
		2000	1.01	0.96	0.91	0.85	0.79		
		3000	0.97	0.92	0.87	0.81	0.75		
		4000	0.93	0.89	0.84	0.77	0.71		
	计及日照时屋外管形导体	1000 及以下	1.05	1.00	0.94	0.87	0.80	0.72	0.63
		2000	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74		
		3000	0.95	0.90	0.84	0.76	0.69		
		4000	0.91	0.86	0.80	0.72	0.65		

表 D.9 矩形铝导体长期允许载流量

A

导体尺寸 $h \times b$ mm $\times$ mm	单条		双条		三条		四条	
	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放
40 $\times$ 4	480	503						
40 $\times$ 5	542	562						
50 $\times$ 4	586	613						
50 $\times$ 5	661	692						
63 $\times$ 6.3	910	952	1409	1547	1866	2111		
63 $\times$ 8	1038	1085	1623	1777	2113	2379		
63 $\times$ 10	1168	1221	1825	1994	2381	2665		
80 $\times$ 6.3	1128	1178	1724	1892	2211	2505	2558	3411
80 $\times$ 8	1274	1330	1946	2131	2491	2809	2863	3817
80 $\times$ 10	1472	1490	2175	2373	2774	3114	3167	4222
100 $\times$ 6.3	1371	1430	2054	2253	2633	2985	3032	4043
100 $\times$ 8	1542	1609	2298	2516	2933	3311	3359	4479
100 $\times$ 10	1278	1803	2558	2796	3181	3578	3622	4829
125 $\times$ 6.3	1674	1744	2446	2680	2079	3490	3525	4700
125 $\times$ 8	1876	1955	2725	2982	3375	3813	3847	5129
125 $\times$ 10	2089	2177	3005	3282	3725	4194	4225	5633

注:1. 载流量系按最高允许温度 +70℃, 基准环境温度 +25℃、无风、无日照条件计算的。
2. 导体尺寸中, h 为宽度, b 为厚度。
3. 当导体为四条时, 平放、竖放第 2、3 片间距离皆为 50mm。

(9) 在电力电缆工程中, 以下 10kV 电缆哪一种可采用直埋敷设? (2011)

(A) 地下单根电缆与市政公路交叉且不允许经常破路的地段

- (B) 地下电缆与铁路交叉地段
- (C) 同一通路少于6根电缆, 且不经常性开挖的地段
- (D) 有杂散电流腐蚀的土壤地段

答案: [C]

依据: 《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 第5.2.2条。

5.2.2 电缆直埋敷设方式的选择, 应符合下列规定:

1 同一通路少于6根的35kV及以下电力电缆, 在厂区通往远距离辅助设施或城郊等不易有经常性开挖的地段, 宜采用直埋; 在城镇人行道下较易翻修情况或道路边缘, 也可采用直埋。

2 厂区内地下管网较多的地段, 可能有熔化金属、高温液体溢出的场所, 待开发有较频繁开挖的地方, 不宜用直埋。

3 在化学腐蚀或杂散电流腐蚀的土壤范围内, 不得采用直埋。同一通路少于6根的35kV及以下电力电缆, 在厂区通往远距离辅助设施或城郊等不易经常性开挖的地段, 宜采用直埋。

根据第3款可知C为正确答案。

105

(10) 某变电所的500kV户外配电装置中选用了2×LGJT-1400双分裂软导线, 其中一间隔的架空双分裂软导线跨距长63m, 临界接触区次档距长16m。此跨距中架空导线的间隔棒间距不可选()。(2011)

- (A) 16m
- (B) 20m
- (C) 25m
- (D) 30m

答案: [A]

依据: 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第7.2.2条。

7.2.2 220kV及以下双分裂导线的间距可取(100~200)mm, 330kV及以上双分裂导线的分裂间距可取(200~400)mm。

载流量较小的回路, 如电压互感器、耦合电容器等回路, 可采用较小截面的导线。

在确定分裂导线间隔棒的间距时, 应考虑短路动态拉力的大小、时间对构架和电器接线端子的影响, 避开动态拉力最大值的临界点。对架空导线间隔棒的间距可取较大的数值, 对设备间的连接导线, 间距可取较小的数值。

(11) 某变电所中有一台交流金属封闭开关柜, 其内装母线在环境温度40℃时的允许电流为1200A, 当柜内空气温度为50℃时, 母线的允许电流应为下列的哪个值?(2011)

- (A) 958A
- (B) 983A
- (C) 1006A
- (D) 1073A

答案: [D]

依据: 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第13.0.5条及公式13.0.5有:

$$I_{50} = I_{40} \sqrt{\frac{40}{t}} = 1200 \times \sqrt{\frac{40}{50}} \text{A} = 1073 \text{A}$$

13.0.5 当环境温度高于 +40℃ 时，开关柜内的电器应按 5.0.3 条的要求降容使用，母线的允许电流可按式计算：

$$I_t = I_{40} \sqrt{\frac{40}{t}} \quad (13.0.5)$$

式中：

t ——环境温度，℃；

I_t ——环境温度 t 下的允许电流；

I_{40} ——环境温度 40℃ 时的允许电流。

● 分析：本题有陷阱，根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 5.0.3 条规定：“电器的正常使用环境条件规定为：周围空气温度不高于 40℃，海拔不超过 1000m。当电器使用在周围空气温度高于 40℃（但不高于 60℃）时，允许降低负荷长期工作。推荐周围空气温度每增高 1K，减少额定电流负荷的 1.8%；当电器使用在周围空气温度低于 +40℃ 时，推荐周围空气温度每降低 1K，增加额定电流负荷的 0.5%，但其最大过负荷不得超过额定电流负荷的 20%；当电器使用在海拔超过 1000m（但不超过 4000m）且最高周围空气温度为 40℃ 时，其规定的海拔每超过 100m（以海拔 1000m 为起点）允许温升降低 0.3%”，则有 $I = 1200 \times [1 - (50 - 40) \times 1.8\%] A \approx 983 A$ ，则答案为 B。但第 13.0.5 条直接给出了母线允许电流计算公式，故应按 13.0.5 条作为答题依据。

(12) 在 380V 低压配电设计中，下列哪种表述是错误的？(2013)

- (A) 选择导体截面时，应满足线路保护的要求
- (B) 绝缘导体固定在绝缘子上，当绝缘子支持点的间距小于等于 2m 时，铝导体最小截面为 10mm^2
- (C) 装置外可导电部分可作为保护接地中性导体的一部分
- (D) 线路电压损失应满足用电设备正常工作及启动时端电压的要求

● 答案：[C]

● 依据：《低压配电设计规范》（GB 50054—2011）第 3.2.2 条、3.2.13 条。

3.2.2 选择导体截面，应符合下列规定：

- 1 按敷设方式及环境条件确定的导体载流量，不应小于计算电流；
- 2 导体应满足线路保护的要求；
- 3 导体应满足动稳定和热稳定的要求；
- 4 线路电压损失应满足用电设备正常工作及启动时端电压的要求；
- 5 导体最小截面应满足机械强度的要求。固定敷设的导体最小截面，应根据敷设方式、绝缘子支持点间距和导体材料按表 3.2.2 的规定确定。

3.2.13 装置外可导电部分严禁作为保护接地中性导体的一部分。

分析：条文说明第 3.2.13 条指出，装置外可导电部分在电气连接的可靠性方面没有保证，因此严禁作为保护接地中性导体的一部分。

(13) 220kV 电缆线路在系统发生单相接地故障时对临近弱电线路有干扰时，应沿电缆线路敷设一根回流线，其回流线的选择与设置应符合下列哪项规定？(2013)

- (A) 当线路较长时，可采用电缆金属护套作回流线
- (B) 回流线的截面应按系统最大故障电流校验
- (C) 回流线的排列方式，应使电缆正常工作时在回流线上产生的损耗最小
- (D) 电缆正常工作时，在回流线上产生的感应电压不得超过 150V

答案：[C]

依据：《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 第 4.1.15 条、第 4.1.16 条。

107

4.1.15 交流系统 110kV 及以上单芯电缆金属层单点直接接地时，下列任一情况下，应沿电缆邻近设置平行回流线。

1 系统短路时电缆金属层产生的工频感应电压，超过电缆护层绝缘耐受强度或护层电压限制器的工频耐压。

2 需抑制电缆邻近弱电线路的电气干扰强度。

4.1.16 回流线的选择与设置，应符合下列规定：

1 回流线的阻抗及其两端接地电阻，应达到抑制电缆金属层工频感应过电压，并应使其截面满足最大暂态电流作用下的热稳定要求。

2 回流线的排列配置方式，应保证电缆运行时在回流线上产生的损耗最小。

3 电缆线路任一终端设置在发电厂、变电所时，回流线应与电源中性线接地的接地网连通。

(14) 电缆与直流电气化铁路交叉时，电缆与铁路路轨间的距离应满足下列哪项数值？(2013)

- (A) 1.5m
- (B) 5.0m
- (C) 2.0m
- (D) 1.0m

答案：[D]

依据：《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 第 5.3.5 条及表 5.3.5。

(15) 下列关于电缆通道防火分隔的做法中，哪项是不正确的？(2013)

- (A) 在竖井中，宜每隔 7m 设置阻火隔层
- (B) 不得使用对电缆有腐蚀和损害的阻火封堵材料
- (C) 防火墙、阻火隔层和阻火封堵应满足耐火极限不应低于 0.5h 的耐火完整性、隔热性要求
- (D) 防火封堵材料或防火封堵组件用于电力电缆时，宜使对载流量影响较小

答案：[C]

依据：《电力工程电缆设计规范》（GB 50217—2007）第 7.0.2 条、7.0.3 条。

7.0.2 防火分隔方式的选择，应符合下列规定：

1 电缆构筑物中电缆引至电气柜、盘或控制屏、台的开孔部位，电缆贯穿隔墙、楼板的孔洞处，工作井中电缆管孔等均应实施防火封堵。

2 在隧道或重要回路的电缆沟中的下列部位，宜设置防火墙（防火墙）。

- 1) 公用主沟道的分支处。
- 2) 多段配电装置对应的沟道适当分段处。
- 3) 长距离沟道中相隔约 200m 或通风区段处。
- 4) 至控制室或配电装置的沟道入口、厂区围墙处。

3 在竖井中，宜每隔 7m 设置防火隔层。

7.0.3 实施防火分隔的技术特性，应符合下列规定：

1 防火封堵、防火隔层的设置，应按电缆贯穿孔洞状况和条件，采用相适合的防火封堵材料或防火封堵组件。用于电力电缆时，宜使对载流量影响较小；用在楼板竖井孔处时，应能承受巡视人员的荷载。防火封堵材料的使用，对电缆不得有腐蚀和损害。

2 防火墙的构成，应采用适合电缆线路条件的防火模块、防火封堵板材、防火包等软质材料，且应在可能经受积水浸泡或鼠害作用下具有稳固性。

3 除通向主控室、厂区围墙或长距离隧道中按通风区段分隔的防火墙部位应设置防火门外，其他情况下，有防止窜燃措施时可不设防火门。防窜燃方式，可在防火墙紧靠两侧不少于 1m 区段所有电缆上施加防火涂料、包带或设置挡火板等。

4 防火墙、防火隔层和防火封堵的构成方式，应按等效工程条件特征的标准试验，满足耐火极限不低于 1h 的耐火完整性、隔热性要求确定。当防火分隔的构成方式不为该材料标准试验的试件装配特征涵盖时，应进行专门的测试论证或采取补加措施；防火分隔厚度不足时，可沿封堵侧紧靠的约 1m 区段电缆上施加防火涂料或包带。

2. 多项选择题

(1) 某电影院以 10kV 三芯电缆供电，10kV 配电室位于二楼。请问可以选用下列哪几种电缆外护层？(2012)

- (A) 聚氯乙烯 (B) 聚乙烯 (C) 乙丙橡皮 (D) 交联聚乙烯

答案：[B、C]

依据：《电力工程电缆设计规范》（GB 50217—2007）第 3.5.1 条第 3 款。

3.5.1 电缆护层的选择，应符合下列要求：

1 交流系统单芯电力电缆，当需要增强电缆抗外力时，应选用非磁性金属铠装层，不得选用未经非磁性有效处理的钢制铠装。

2 在潮湿、含化学腐蚀环境或易受水浸泡的电缆，其金属层、加强层、铠装上应有聚乙烯外护层，水中电缆的粗钢丝铠装应有挤塑外护层。

3 在人员密集的公共设施，以及有低毒阻燃性防火要求的场所，可选用聚乙烯或乙丙橡皮等不含卤素的外护层。

防火有低毒性要求时，不宜选用聚氯乙烯外护层。

4 除 -15℃ 以下低温环境或药用化学液体浸泡场所，以及有低毒难燃性要求的电缆挤塑外护层宜选用聚乙烯外，其他可选用聚氯乙烯外护层。

5 用在有水或化学液体浸泡场所的 6~35kV 重要性或 35kV 以上交联聚乙烯电缆，应具有符合使用要求的金属塑料复合阻水层、金属套等径向防水构造。

敷设于水下的中、高压交联聚乙烯电缆应具有纵向阻水构造。

(2) 在电力系统中，下列哪些叙述符合电缆敷设要求？(2012)

- (A) 电力电缆采用直埋方式，在地下煤气管道正上方 1m 处
- (B) 在电缆沟内，电力电缆与热力管道的最小平行距离为 1m
- (C) 35kV 电缆采用水平明敷时，在直线段每隔不少于 100m 处宜有固定措施
- (D) 电缆支架除支持工作电流大于 1500A 的交流系统单芯电缆外，宜选用钢制

答案：[C、D]

依据：《电力工程电缆设计规范》（GB 50217—2007）第 5.3.5 条：“直埋敷设的电缆，严禁位于地下管道的正上方或正下方”，故 A 答案错误；根据表 5.3.5，电缆与热力管沟容许最小距离平行敷设时为 2m，特殊情况下，减小值不得大于 50%，故 B 答案错误；第 6.1.3 条：“35kV 及以下电缆明敷时，应设置适当固定的部位，并应符合下列规定：水平敷设，应设置在电缆线路首、末端和转弯处以及接头的两侧，且宜在直线段每隔不少于 100m 处”，故 C 答案正确；第 6.2.2 条：“电缆支架除支持工作电流大于 1500A 的交流系统单芯电缆外，宜选用钢制”，故 D 答案正确。

表 5.3.5 电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间的容许最小距离 m

电缆直埋敷设时的配置情况		平 行	交 叉
控制电缆之间		—	0.5 ^①
电力电缆之间或与 控制电缆之间	10kV 及以下电力电缆	0.1	0.5 ^①
	10kV 及以上电力电缆	0.25 ^②	0.5 ^①
不同部门使用的电缆		0.5 ^②	0.5 ^①
电缆与地下管沟	热力管沟	2 ^③	0.5 ^①
	油管或易(可)燃气管道	1	0.5 ^①
	其它管道	0.5	0.5 ^①
电缆与铁路	非直流电气化铁路路轨	3	1.0
	直流电气化铁路路轨	10	1.0
电缆与建筑物基础		0.6 ^③	—
电缆与公路边		1.0 ^③	
电缆与排水沟		1.0 ^③	
电缆与树木的主干		0.7	
电缆与 1kV 以下架空线电杆		1.0 ^③	
电缆与 1kV 以上架空线杆塔基础		4.0 ^③	

① 用隔板分隔或电缆穿管时不得小于 0.25m；

② 用隔板分隔或电缆穿管时不得小于 0.1m；

③ 特殊情况时，减小值不得小于 50%。

(3) 电力工程中，常用电缆的绝缘类型选择，下列哪些规定是正确的？(2011)

- (A) 低压电缆宜选用聚氯乙烯或交联聚乙烯型挤塑绝缘类型
- (B) 中压电缆宜选用交联聚乙烯绝缘类型
- (C) 高压交流系统中，宜选用交联聚乙烯绝缘类型
- (D) 直流输电系统宜选用普通交联聚乙烯型电缆

▶ 答案：[A、B、C]

▶ 依据：根据《电力工程电缆设计规范》(DL/T 50217—2007) 第 3.4.2 条。

3.4.2 常用电缆的绝缘类型的选择应符合规定为：

1 中、低压电缆绝缘类型选择应符合本规范第 3.4.3 ~ 3.4.7 条的规定外，低压电缆宜选用聚氯乙烯或交联聚乙烯型挤塑绝缘类型，中压电缆宜选用交联聚乙烯绝缘类型。

明确需要与环境保护协调时，不得选用聚氯乙烯绝缘电缆。

2 高压交流系统中电缆线路，宜选用交联聚乙烯绝缘类型。在有较多的运行经验地区，可选用自容式充油电缆。

3 高压直流输电电缆，可选用不滴流浸渍纸绝缘、自容式充油类型。在需要提高输电能力时，宜选用以半合成纸材料构造的型式。

直流输电系统不宜选用普通交联聚乙烯型电缆。

由 3.4.2 条第 1 款可知 A、B 答案正确；根据第 2 款可知 C 答案正确；根据第 3 款可知直流输电系统不宜选用普通交联聚乙烯型电缆，故 D 答案错误。

(4) 电力工程中，防腐型铝绞线一般应用在以下哪些区域？(2011)

- (A) 在空气含盐量较大的沿海地区
- (B) 周围气体对铝有明显腐蚀的场所
- (C) 变电所内母线
- (D) 变电所 2km 进线范围内

▶ 答案：[A、B]

▶ 依据：《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 7.2.3 条：在空气含盐量较大的沿海地区或周围气体对铝有明显腐蚀的场所，宜选用防腐型铝绞线或钢绞线。

(5) 某变电所中，10kV 户内配电装置的通风设计温度为 35℃，主母线的工作电流是 1600A，选用矩形铝母线、平放。按正常工作电流，铝排可选下列哪几种？(2011)

- (A) $100 \times 10\text{mm}^2$ (B) $125 \times 6.3\text{mm}^2$ (C) $125 \times 8\text{mm}^2$ (D) $2 \times (80 \times 8\text{mm}^2)$

▶ 答案：[C、D]

▶ 依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 8-6（同单项选择题第 8 题表 D.11）查得环境温度和海拔综合校正系数为 0.88。再由表 8-2（同单项选择题第 8 题表

D.9) 查得各铝排的载流量, 有

A 答案: $1728 \times 0.88 \text{ A} = 1520.64 \text{ A} < 1600 \text{ A}$

B 答案: $1674 \times 0.88 \text{ A} = 1473.12 \text{ A} < 1600 \text{ A}$

C 答案: $1876 \times 0.88 \text{ A} = 1650.88 \text{ A} > 1600 \text{ A}$

D 答案: $2 \times 1174 \times 0.88 \text{ A} = 2066.24 \text{ A} > 1600 \text{ A}$

(6) 电力工程中, 交流系统 220kV 单芯电缆金属层单点直接接地时, 下列哪些情况下, 应沿电缆邻近设置平行回流线? (2011)

(A) 线路较长

(B) 未设置护层电压限制器

(C) 需要抑制电缆邻近弱电线路的电气干扰强度

(D) 系统短路时电缆金属护层产生的工频感应电压超过电缆护层绝缘耐受强度

▶ 答案: [C、D]

▶ 依据: 《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 第 4.1.15 条。

111

4.1.15 交流系统 110kV 及以上单芯电缆金属层单点直接接地时, 下列任一情况下, 应沿电缆邻近设置平行回流线。

1 系统短路时电缆金属层产生的工频感应电压, 超过电缆护层绝缘耐受强度或护层电压限制器的工频耐压。

2 需抑制电缆邻近弱电线路的电气干扰强度。

(7) 在 380V 低压配电线路中, 下列哪些情况中性导体截面可以小于相导体截面? (2013)

(A) 中性导体已进行了过电流保护

(B) 在正常工作时, 含谐波电流在内的中性导体预期最大电流等于中性导体的允许载流量

(C) 铜相导体截面小于等于 16mm^2 的三相四线制线路

(D) 单相两线制线路

▶ 答案: [A、B]

▶ 依据: 《低压配电设计规范》(GB 50054—2011) 第 3.2.8 条。

3.2.8 符合下列条件的线路, 中性导体截面可小于相导体截面:

1 铜相导体截面大于 16mm^2 或铝相导体截面大于 25mm^2 ;

2 铜中性导体截面大于等于 16mm^2 或铝中性导体截面大于等于 25mm^2 ;

3 在正常工作时, 包括谐波电流在内的中性导体预期最大电流小于等于中性导体的允许载流量;

4 中性导体已进行了过电流保护。

▶ 分析: 《低压配电设计规范》(GB 50054—2011) 以前在发输变电专业里考的少, 但 2013 年考了好几个题。

3. 案例题

题 1: 某电网规划建设一座 220kV 变电所，安装两台主变，三侧电压为 220/110/10kV。220kV、110kV 为双母线接线，10kV 为单母线分段接线。220kV 出线 4 回，10kV 电缆出线 16 回，每回长 2km。110kV 出线无电源。电气主接线如图 5-1 所示，请回答下列问题。（2011）

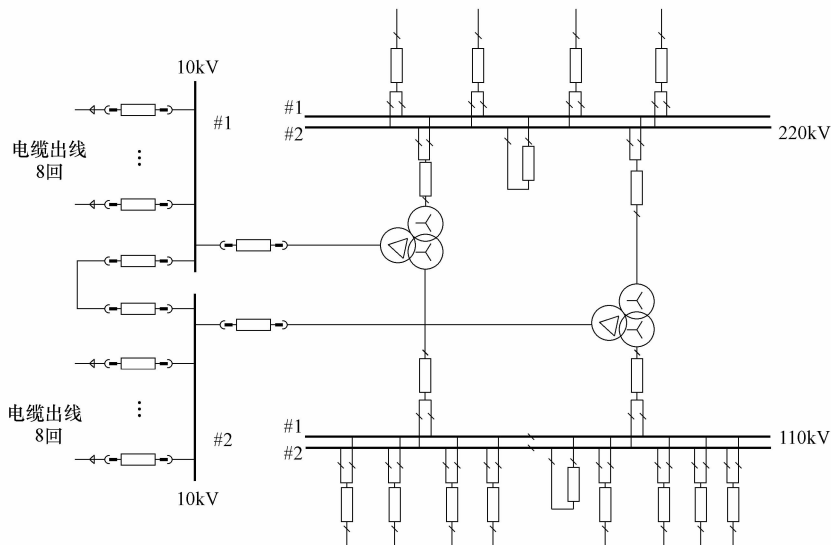


图 5-1 电气主接线

(1) 如该变电所 220kV 屋外配电装置采用 $\phi 120/110$ [铝镁系 (LDRE)] 管形母线，远景 220kV 母线最大穿越功率为 900MVA，在计及日照（环境温度为 35℃、海拔为 1000m 以下）条件下，请计算 220kV 管形母线长期允许载流量最接近下列哪项数值？是否满足要求？并说明理由。

- (A) 2317A，不满足要求 (B) 2503A，满足要求
(C) 2663A，满足要求 (D) 2831A，满足要求

答案：[A]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 8-6，裸导体载流量在计及海拔（1000m 以下）和环境温度（35℃）下的综合校正系数 $k = 0.87$ ，由《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）表 D.2 得 $\phi 120/110\text{mm}$ 铝镁系 (LDRE) 80℃ 的载流量为 2663A，可得该管形母线的长期允许载流量为 $2663 \times 0.87\text{A} = 2317\text{A}$ 。又根据母线远景最大穿越功率为 900MVA，可得该母线回路的持续工作电流为

$$I_g = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{900 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220}\text{A} = 2361\text{A} > 2317\text{A}$$

故选 A 为正确答案。

表 D.2 铝镁系（LDRE）管形母线长期允许载流量及计算用数据

导体尺寸 D/d mm	导体截面 mm^2	导体最高允许温度 为下值时的载流量 A		截面系数 W cm^3	惯性半径 r_1 cm	截面惯性矩 I cm^4
		+ 70℃	+ 80℃			
30/25	216	491	561	1.37	0.976	2.06
40/35	294	662	724	2.60	1.33	5.20
50/45	373	834	877	4.22	1.68	10.6
60/54	539	1094	1125	7.29	2.02	21.9
70/64	631	1281	1284	10.2	2.37	35.5
80/72	954	1700	1654	17.3	2.69	69.2
100/90	1491	2360	2234	33.8	3.36	169
110/100	1649	2585	2463	41.4	3.72	228
120/110	1806	2831	2663	49.9	4.07	299
130/116	2705	3655	3274	79.0	4.36	513
150/136	3145	4269	3720	107	5.06	806
170/154	4072	5052	4491	158	5.73	1339
200/184	4825	5969	5144	223	6.79	2227
250/230	7540	8342	6914	435	8.49	5438

注：1. 最高允许温度 +70℃ 的载流量，系按基准环境温度 +25℃、无风、无日照、辐射散热系数与吸热系数为 0.5、不涂漆条件计算的。

2. 最高允许温度 +80℃ 的载流量，系按基准环境温度 +25℃、日照 0.1W/cm²、风速 0.5m/s 且与管形导体垂直、海拔 1000m、辐射散热系数与吸热系数为 0.5、不涂漆条件计算的。

3. 导体尺寸中， D 为外径， d 为内径。

(2) 220kV 线路采用架空钢芯铝绞线，（导线最高允许温度为 +70℃、环境温度为 25℃）导线参数见表 5-1。若单回线路最大输送容量为 550MW（功率因数为 0.95），请计算并合理选择导线为下列哪一种？

表 5-1 导线参数

导线截面/mm ²	长期允许电流/A
400	845
2 × 300	710 × 2
2 × 400	845 × 2
2 × 630	1090 × 2

(A) 2 × 300mm² (B) 2 × 400mm² (C) 400mm² (D) 2 × 630mm²

答案：[D]

解答过程：本题考查输电线截面的选择。根据《电力系统设计手册》P179 第八节内容作答。架空送电线路导体截面一般按经济电流密度来选择，并根据电晕、机械强度以及事

故情况下的发热条件进行计算。

导线截面的计算公式如下：

$$S = \frac{P}{\sqrt{3}JU_e \cos\varphi} \quad (7-13)$$

式中 S ——导线截面 (mm^2)；

P ——送电容量 (kW)；

U_e ——线路额定电压 (kV)；

J ——经济电流密度 (A/mm^2)。

我国 1956 年由电力部颁布的经济电流密度如表 7-7 所示。

表 7-7 经济电流密度

A/mm^2

导线材料	最大负荷利用小时数 $T_{\max}$		
	3000 以下	3000 ~ 5000	5000 以上
铝线	1.65	1.15	0.9
铜线	3.0	2.25	1.75

根据公式 (7-13) 和表 7-7 有：

$$S = \frac{P}{\sqrt{3}JU_e \cos\varphi} = \frac{550 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 1.15 \times 220 \times 0.95} \text{mm}^2 = 1321 \text{mm}^2$$

分析：本题没有指名经济电流密度值，但根据表 7-7 取 $1.15 \text{A}/\text{mm}^2$ 是合理的选择。选择输电线路的截面积，一般不按发热条件计算，发热条件仅用做进行导线截面的校验。

(3) 若主变高压侧并列运行，为限制该变电所 10kV 母线短路电流，需采取相应措施。以下哪种措施不能有效限制 10kV 母线短路电流？为什么？

- (A) 提高主变阻抗
- (B) 10kV 母线分列运行
- (C) 在主变低压侧加装串联电抗器
- (D) 110kV 母线分列运行，10kV 母线并列运行

答案：[D]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 4-1 节第 3 条规定，发电厂和变电所中可以采取的限流措施有：

- 1) 发电厂中，在发电机电压母线分段回路中安装电抗器。
- 2) 变压器分列运行。
- 3) 变电所中，在变压器回路中装设分裂电抗器或电抗器。
- 4) 采用低压侧为分裂绕组的变压器。
- 5) 出线上装设电抗器。

综上所述，母线并列运行并不能限制短路电流，可知答案为 D。

(4) 请计算该变电所 10kV 系统电缆线路单相接地电容电流应为下列哪项数值？

- (A) 2A (B) 32A (C) 1.23A (D) 320A

► 答案: [B]

► 解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式(6-34)电缆线路的电容电流可按式计算:

$$I_C = 0.1 U_e L = 0.1 \times 10 \times 2A = 2A$$

则总电缆线路电容电流值为 $16 \times 2A = 32A$ 。

(5) 该变电所 10kV 侧采用了 YNd 接线的三相接地变压器, 且中性点经电阻接地, 请问下列哪项接地变压器容量选择要求是正确的? 为什么? (注: S_N 为接地变压器额定容量; P_r 为接地电阻额定容量)

- (A) $S_N = U_N I_2 / \sqrt{3} K n_\phi$ (B) $S_N \leq P_r$
(C) $S_N \geq P_r$ (D) $S_N \geq \sqrt{3} P_r / 3$

► 答案: [C]

► 解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 18.3.4 条及式(18.3.4-3)。

18.3.4 对 Z 型或 YNd 结线三相接地变压器, 若中性点接消弧线圈或电阻的话, 接地变压器容量为:

$$S_N \geq Q_x \quad S_N \geq P_r \quad (18.3.4-3)$$

式中:

Q_x ——消弧线圈额定容量;

P_r ——接地电阻额定容量。

题 2: 一座远离发电厂的城地下变电所, 设有 110/10kV、50MVA 主变压器两台, 110kV 线路 2 回, 内桥接线, 10kV 出线多回, 单母线分段接线。110kV 母线最大三相短路电流 31.5kA, 10kV 母线最大三相短路电流 20kA。110kV 配电装置为户内 GIS, 10kV 户内配电装置为成套开关柜。地下建筑共有三层, 地下一层的布置如图 5-2 所示。请按各小题假设条件回答下列问题。(2011)

(1) 本变电所有两台 50MVA 变压器, 若变压器过负荷能力为 1.3 倍, 请计算最大的设计负荷为下列哪一项值?

- (A) 50MVA (B) 65MVA (C) 71MVA (D) 83MVA

► 答案: [B]

► 解答过程: 根据《35kV~220kV 城市地下变电站设计规定》(DL/T 5216—2005) 第 6.2.2 条: “当装有两台及以上变压器的地下变电站, 当断开一台主变压器时, 其余变压器的容量(包括过负荷能力)应满足全部负荷用电要求”, 设负荷值为 S , 则 S 应满足

$$S \leq 1.3 \times 50MVA = 65MVA$$

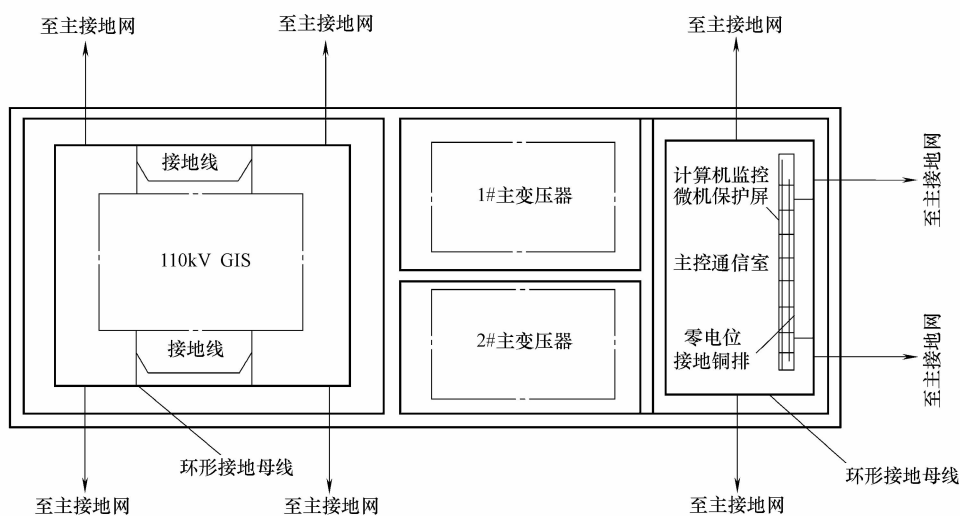


图 5-2 地下一层的布置

(2) 如本变电所中 10kV 户内配电装置的通风设计温度为 30℃，主变压器 10kV 侧母线选用矩形铝母线，按 1.3 倍过负荷工作电流考虑，矩形铝母线最小规格及安装方式应选择下列哪一种？

- (A) $3 \times (125 \times 8\text{mm}^2)$ 竖放 (B) $3 \times (125 \times 10\text{mm}^2)$ 平放
(C) $3 \times (125 \times 10\text{mm}^2)$ 竖放 (D) $4 \times (125 \times 10\text{mm}^2)$ 平放

答案：[C]

解答过程：主变按 1.3 倍过负荷工作电流考虑则得主变的工作电流为

$$I_g = 1.3 \frac{S}{\sqrt{3}U_N} = 1.3 \times \frac{50}{\sqrt{3} \times 10} \text{kA} = 3.753 \text{kA} = 3753 \text{A}$$

查《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 8-2（见本章单项选择题第（8）题）得

- $3 \times (125 \times 8\text{mm}^2)$ 矩形铝母线平放的载流量为 3375A；
 $3 \times (125 \times 8\text{mm}^2)$ 矩形铝母线竖放的载流量为 3813A；
 $3 \times (125 \times 10\text{mm}^2)$ 矩形铝母线平放的载流量为 3725A；
 $3 \times (125 \times 10\text{mm}^2)$ 矩形铝母线竖放的载流量为 4194A；
 $4 \times (125 \times 10\text{mm}^2)$ 矩形铝母线平放的载流量为 4225A；
 $4 \times (125 \times 10\text{mm}^2)$ 矩形铝母线竖放的载流量为 5633A。

又根据该手册表 8-6 得 30℃ 时的温度修正系数为 0.94，故

如果选 A，则有 $3813 \times 0.94 \text{A} = 3584 \text{A} < 3753 \text{A}$ ，不满足要求；

如果选 B，则有 $3725 \times 0.94 \text{A} = 3501.5 \text{A} < 3753 \text{A}$ ，不满足要求；

如果选 C，则有 $4194 \times 0.94 \text{A} = 3942.4 \text{A} > 3753 \text{A}$ ，满足要求，且为最合理截面；

如果选 D，则有 $4225 \times 0.94 \text{A} = 3971.5 \text{A} > 3753 \text{A}$ ，满足要求但不是最经济合理的截面。

(3) 本变电所中 10kV 户内配电装置某间隔内的分支母线是 $80 \times 8\text{mm}^2$ 铝排, 相间距离 30cm, 母线支持绝缘子间跨距 120cm。请计算一跨距母线相间的最大短路电动力最接近下列哪项数值? (振动系数 β 取 1)

- (A) 104.08N (B) 1040.8N (C) 1794.5N (D) 179.45N

► 答案: [C]

► 解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (8-8) 有

$$F = 17.248 \frac{l}{a} i_{\text{ch}}^2 \beta \times 10^{-2}$$

式中, $i_{\text{ch}} = \sqrt{2} K_{\text{ch}} I'' = \sqrt{2} \times 1.8 \times 20\text{kA} = 51\text{kA}$ (由于短路点远离发电厂, 故取 $K_{\text{ch}} = 1.8$)

把以上变量的值代入公式有

$$F = 17.248 \times \frac{120}{30} \times 51^2 \times 1 \times 10^{-2} \text{N} = 1794.5\text{N}$$

117

(4) 本变电所的 110kV GIS 配电室内接地线的布置如图 5-2 所示。如 110kV 母线最大单相接地故障电流为 5kA。由 GIS 引向室内环形接地母线的接地线截面热稳定校验电流最小可取下列哪项数值? 依据是什么?

- (A) 5kA (B) 3.5kA (C) 2.5kA (D) 1.75kA

► 答案: [D]

► 解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 第 6.2.14 条 B 款规定: “对于只有 2 条或 4 条接地线, 其截面热稳定的校验电流分别取全部接地 (短路或故障) 电流的 70% 和 35%”, 本题中有 4 条引向室内环形母线的接地线, 故有 $5 \times 35\% \text{kA} = 1.75\text{kA}$ 。

(5) 本变电所的主控通信室内装有计算机监控系统和微机保护装置, 主控通信室内的接地布置如图 5-2 所示, 图中有错误, 请指出图中的错误是哪一条? 依据是什么?

- (A) 主控通信室内的环形接地母线与主接地网应一点相连
(B) 主控通信室内的环形接地母线不得与主接地网相连
(C) 零电位接地铜排不得与环形接地母线相连
(D) 零电位接地铜排与环形接地母线两点相连

► 答案: [D]

► 解答过程: 根据《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2001) 第 13.2.4 条规定: “零电位母线应仅在一点用绝缘铜绞线或电缆就近连接至接地干线上。零电位母线与主接地网连接处不得靠近有可能产生较大故障电流和较大电气干扰的场所, 例如避雷器、高压隔离开关、旋转电机附近及其接地点”, 故答案为 D。

题 3: 某 220kV 变电所, 原有两台 120MVA 主变, 主变侧电压为 220/110/35kV, 220kV 为户外管形母线中型布置, 管形母线规格为 $\phi 100/90$; 220kV、110kV 为双母线接线, 35kV 为单线分段接线, 根据负荷增长的要求, 计划将现有两台主变更换为 180MVA (远景按 $3 \times 180\text{MVA}$ 考虑)。(2010)

(1) 根据系统计算结果，220kV 母线短路电流已达 35kA，在对该管形母线进行短路下机械强度计算时，请判断须按下列哪项考虑，并说明根据。

- (A) 自重、引下线重、最大风速
(B) 自重、引下线重、最大风速和覆冰
(C) 自重、引下线重、短路电动力和 50% 最大风速且不小于 15m/s 风速
(D) 引下线重、自重、相应震级的地震力和 25% 最大风速

答案：[C]

解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 7.3.5 条表 7.3.5。

7.3.5 屋外管型导体荷载组合可采用表 7.3.5 所列条件。

表 7.3.5 荷载组合条件

状态	风速	自重	引下线重	覆冰重量	短路电动力	地震力
正常时	有冰时的风速	√	√	√		
	最大风速	√	√			
短路时	50% 最大风速且不小 15m/s	√	√		√	
地震时	25% 最大风速	√	√			相应震级的地震力

注：√为计算时应采用的荷载条件。

也可根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 8-17 得到答案。

表 8-17 荷载组合条件

荷载	风速	自重	引下线重	覆冰重	短路电动力	地震力
状态	正常时	覆冰时的风速	√	√		
		最大风速	√	√		
	短路时	50% 最大风速， 且不小于 15m/s	√	√	√	
	地震时	25% 最大风速	√	√		相应震级的地震力

分析：1) 注意本题中的母线处于短路状态。2) 有时候一个题的答案可能来自规范规程，也有可能来自设计手册，如果两者有冲突，应该以规范规程为答题依据。

(2) 已知现有 220kV 配电装置为铝镁系（LDRE）管形母线，在计及日照（环境温度为 35℃，海拔为 1000m 以下）条件下，若远景 220kV 母线最大穿越功率为 800MVA，请通过计算判断下列哪个正确？

- (A) 现有母线长期允许载流量 2234A，不需要更换
(B) 现有母线长期允许载流量 1944A，需要更换
(C) 现有母线长期允许载流量 1966A，需要更换
(D) 现有母线长期允许载流量 2360A，不需要更换

答案：[B]

解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 7.1.5

条、附录 D 表 D2 及 D11。

7.1.5 在按回路正常工作电流选择导体截面时,导体的长期允许载流量,应按所在地区的海拔及环境温度进行修正。导体的长期允许载流量及其修正系数可采用附录 D 所列数值。导体采用多导体结构时,应考虑邻近效应和热屏蔽对载流量的影响。

根据附录 D 表 D.2 及表 D.11,管形母线规格为 $\phi 100/90\text{mm}$,最高允许温度为 80°C (因为计及日照,根据表 D.2 注 2 取 80°C 为最高允许温度)时的载流量 $I_{xu} = 2234\text{A}$,海拔为 1000m 以下,实际环境温度为 35°C 的综合校正系数为 0.87 ,修正后 $I_{xu} = k \times 2234 = 0.87 \times 2234 = 1944\text{A}$ 。已知母线的最大穿越功率,则母线持续工作电流为

$$I_g = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N} = \frac{800}{\sqrt{3} \times 220} \text{kA} = 2.1 \text{kA} = 2100\text{A} > I_{xu} = 1944\text{A}$$

所以需要更换。

► 分析:计及日照选择载流量的时候不要误选,要考虑海拔和环境温度的综合校正。

119

(3) 变电所扩建后,35kV 出线规模增加,若该 35kV 系统总的单相接地故障电容电流为 22.2A,且允许短时单相接地运行,计算 35kV 中性点接地应选择下列哪种接线方式?

- (A) 35kV 中性点不接地,不需要装设消弧线圈
- (B) 35kV 中性点经消弧线圈接地,消弧线圈容量:450kVA
- (C) 35kV 中性点经消弧线圈接地,消弧线圈容量:800kVA
- (D) 35kV 中性点经消弧线圈接地,消弧线圈容量:630kVA

► 答案:[D]

► 解答过程:根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 2-7 节(第 70 页)规定:“当 $20 \sim 63\text{kV}$ 单相接地故障电流超过 10A 时,中性点应经消弧线圈接地”,又根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)第 18.1.4 条:消弧线圈的补偿度,可按式计算:

$$Q = KI_c \frac{U_N}{\sqrt{3}} = 1.35 \times 22.2 \times \frac{35}{\sqrt{3}} \text{kVA} = 605.6 \text{kVA}$$

式中, K 为补偿系数,过补偿取 1.35 。 K 的取值的依据是根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)第 18.1.6 条,即“装在电网变压器中性点的消弧线圈,以及具有直配线的发电机中性点的消弧线圈应采用过补偿方式”。

(4) 该变电所选择 220kV 母线三相短路电流为 38kA,若 180MVA 主变阻抗为 $U_{k(1-2)}\% = 14$, $U_{k(2-3)}\% = 8$, $U_{k(3-1)}\% = 23$ 。110kV 侧、35kV 侧均为开环且无电源,请计算该变电所 110kV 母线最大三相短路电流为 ()。($S_B = 100\text{MVA}$, $U_B = 230\text{kV}/121\text{kV}$)

- (A) 5.65kA
- (B) 8.96kA
- (C) 10.49kA
- (D) 14.67kA

► 答案:[D]

► 解答过程:先做出系统电抗图,如图 5-3 所示。

1) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第四章 短路电流计算式 (4-10):

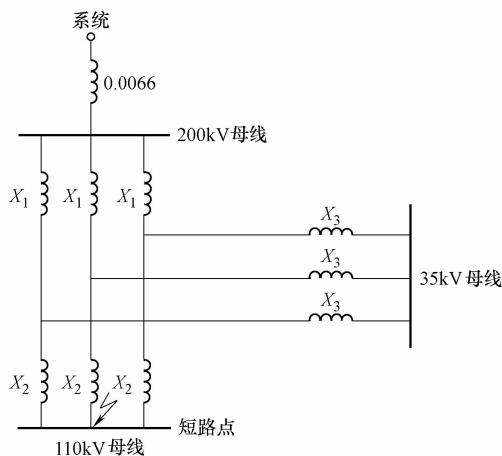


图 5-3 系统电抗图

已知系统短路容量 S_d'' ，可求出系统的组合电抗标么值：

$$X_* = \frac{S_j}{S_d''} = \frac{100}{1.732 \times 230 \times 38} = 0.0066$$

2) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第四章 短路电流计算表 4-2，变压器的标么值为

$$U_{k1}\% = \frac{1}{2}(U_{k(1-2)}\% + U_{k(3-1)}\% - U_{k(2-3)}\%) = \frac{1}{2} \times (14 + 23 - 8) = 14.5$$

$$U_{k2}\% = \frac{1}{2}(U_{k(1-2)}\% + U_{k(2-3)}\% - U_{k(3-1)}\%) = \frac{1}{2} \times (14 + 8 - 23) = -0.5$$

$$U_{k3}\% = \frac{1}{2}(U_{k(2-3)}\% + U_{k(3-1)}\% - U_{k(1-2)}\%) = \frac{1}{2} \times (8 + 23 - 14) = 8.5$$

$$X_1 = \frac{U_{k1}\%}{100} \times \frac{S_j}{S_e} = \frac{14.5}{100} \times \frac{100}{180} = 0.0806$$

$$X_2 = \frac{U_{k2}\%}{100} \times \frac{S_j}{S_e} = \frac{-0.5}{100} \times \frac{100}{180} = -0.0028$$

$$X_3 = \frac{U_{k3}\%}{100} \times \frac{S_j}{S_e} = \frac{8.5}{100} \times \frac{100}{180} = 0.0472$$

本题中，短路点在 110kV 母线，35kV 侧开环且无电源，故总的电抗标么值为

$$X = X_* + \frac{X_1}{3} + \frac{X_2}{3} = 0.0066 + \frac{0.0806}{3} - \frac{0.0028}{3} = 0.0066 + 0.0269 - 0.00093 = 0.03257$$

显然，本题的系统侧为无穷大电源。根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第四章 短路电流计算 第 4.4 节式 (4-20)：

$$I_j = \frac{S_B}{\sqrt{3}U_B} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 121} \text{ kA} = 0.4772 \text{ kA}$$

$$I_z = \frac{I_j}{X} = \frac{0.4772}{0.03257} \text{ kA} = 14.65 \text{ kA}$$

分析：1) 本题中规定了 U_B 为 121kV，而不是传统的 115kV，而且 110kV、35kV 侧开环且无电源。

2) 本题需要考虑系统阻抗, 且远景按三台主变考虑。

(5) 该变电所现有 35kV, 4 组 7.5Mvar 并联电容器, 更换为两台 180MVA 主变后, 请根据规程说明下列电容器配置中, 哪项是错的?

- (A) 容量不满足要求, 增加 2 组 7.5Mvar 电容器
- (B) 可以满足要求
- (C) 容量不满足要求, 更换为 6 组 10Mvar 电容器
- (D) 容量不满足要求, 更换为 6 组 15Mvar 电容器

▶ 答案: [B]

▶ 解答过程: 根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 条文说明第 3.0.2 条, 电容器容量按主变容量的 10% ~ 30% 确定, 即

$$\begin{aligned} 10\% \times S_T &\leq Q \leq 30\% \times S_T \\ \Rightarrow 10\% \times 2 \times 180 &\leq Q \leq 30\% \times 2 \times 180 \\ \Rightarrow 36\text{Mvar} &\leq Q \leq 108\text{Mvar} \end{aligned}$$

现有容量 $7.5 \times 4\text{Mvar} = 30\text{Mvar}$, 所以还需要的补偿容量范围为

$$6\text{Mvar} \leq Q_{\text{需要}} \leq 78\text{Mvar}$$

121

题 4: 某变电所电压等级为 220/110/10kV, 主要容量为两台 180MVA, 220kV、110kV 系统为有效接地方式, 10kV 系统为消弧线圈接地方式。220kV、110kV 设备为户外布置, 母线均采用圆形铝管母线型式, 10kV 设备为户内开关柜, 10kV 所用电变压器采用两台 400kVA 的油浸式变压器, 布置于户外, 请回答以下问题。(2010)

(1) 若 220kV 圆形铝管母线的外径为 150mm, 假设母线导体固有自振频率为 7.2Hz, 请计算下列哪项数值为产生微风共振的计算风速?

- (A) 1m/s
- (B) 5m/s
- (C) 6m/s
- (D) 7m/s

▶ 答案: [B]

▶ 解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 7.3.6 条。

7.3.6 屋外管形导体的微风振动, 可按下式校验:

$$v_{js} = f \frac{D}{A} = 7.2 \times \frac{150 \times 0.001}{0.214} \text{m/s} = 5 \text{m/s}$$

式中, v_{js} 为管形导体产生微风共振的计算风速 (m/s); f 为导体各阶固有频率 (Hz); D 为铝管外径 (m); A 为频率系数, 圆管可取 0.214。

(2) 当计算风速小于 6m/s 时, 可以采用下列哪项措施以消除管形母线微风振动? 并简述理由。

- (A) 加大铝管内径
- (B) 母线采用防震支撑
- (C) 在管内加装阻尼线
- (D) 采用短托架

▶ 答案: [C]

▶ 解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 7.3.6 条。

7.3.6 当计算风速小于 6m/s 时，可以采用下列措施消除管形母线微风振动：

- 1 在管内加装阻尼线；
- 2 加装动力消振器；
- 3 采用长托架。

(3) 该变电所从 10kV 开关柜到所用变之间采用电缆连接，单相接地故障持续时间按 2h 考虑，请计算该电缆导体与绝缘屏蔽之间额定电压最小不应低于下列哪项数值？

- (A) 5.77kV (B) 7.68kV (C) 10kV (D) 13.3kV

▶ 答案：[B]

▶ 解答过程：根据《电力工程电缆设计规范》（GB 50217—2007）第 3.3.2 条。

3.3.2 交流系统中电力电缆导体与绝缘屏蔽或金属层之间额定电压的选择，应符合下列规定：

- 1 中性点直接接地或经低电阻接地的系统，接地保护动作不超过 1min 切除故障时，不应低于 100% 的使用回路工作相电压。
- 2 除上述供电系统外，其他系统不宜低于 133% 的使用回路工作相电压；在单相接地故障可能持续 8h 以上，或发电机回路等安全性要求较高时，宜采用 173% 的使用回路工作相电压。

本题中 10kV 开关柜到所用变之间采用电缆连接，单相接地故障持续时间按 2h 考虑，按上述第 2 款规定，该电缆导体与绝缘屏蔽之间额定电压最小不宜低于使用回路工作相电压的 133%，即 $1.33 \times 10/\sqrt{3} \text{ kV} = 7.68 \text{ kV}$ 。

(4) 该变电所从 10kV 开关柜到所用变之间采用一根三芯铠装交联聚乙烯电缆，敷设方式为与另一根 10kV 馈线电缆（共两根）并行直埋，净距为 100mm，电缆导体最高工作温度按 90℃ 考虑，土壤环境温度为 30℃，土壤热阻系数为 3.0K·m/W，按照 100% 持续工作电流计算，请问该电缆导体最小载流量计算值应为下列哪项？

- (A) 28A (B) 33.6A (C) 37.3A (D) 46.3A

▶ 答案：[C]

▶ 解答过程：1) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》（1）第 6-1 节表 6-3 可得变压器回路持续工作电流为

$$I_g = \frac{1.05 S_e}{\sqrt{3} U_e} = \frac{1.05 \times 400}{\sqrt{3} \times 10} \text{ A} = 24.24 \text{ A}$$

2) 根据《电力工程电缆设计规范》（GB 50217—2007）附录 D.0.1 条及表 D.0.1，土壤环境温度为 30℃ 时的电缆载流量校正系数 $K_1 = 0.96$ 。

3) 根据《电力工程电缆设计规范》（GB 50217—2007）附录 D.0.3 条及表 D.0.3，土壤热阻系数为 3.0K·m/W 时的电缆载流量校正系数 $K_3 = 0.75$ 。

4) 根据《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)附录 D.0.4 条及表 D.0.4, 在电缆之间净距为 100mm, 土中直埋两根并行敷设时的电缆载流量校正系数 $K_4 = 0.9$ 。

5) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (17-1) 有

$$KI_{xu} \geq I_g \Rightarrow I_{xu} \geq \frac{I_g}{K} = \frac{24.24}{0.648} A \approx 37.3 A$$

式中, $K = K_1 K_3 K_4 = 0.96 \times 0.75 \times 0.9 = 0.648$, 故选 C 为正确答案。

(5) 该变电所 10kV 出线电缆沟深度为 1200mm, 沟内采用电缆支架两侧布置方式, 请问该电缆沟内通道的净宽不宜小于下列哪项数值? 并说明根据和理由。

- (A) 500mm (B) 600mm (C) 700mm (D) 800mm

答案: [C]

解答过程: 根据《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 5.5.1 条。

123

5.5.1 电缆构筑物的尺寸应按容纳的全部电缆确定, 电缆的配置应无碍安全运行, 满足敷设施工作业与维护巡视活动所需空间, 并应符合下列规定:

- 1 隧道内通道净高不宜小于 1900mm; 在较短的隧道中与其他沟道交叉的局部段, 净高可降低, 但不应小于 1400mm。
- 2 封闭式工作井的净高不宜小于 1900mm。
- 3 电缆夹层室的净高不得小于 2000mm, 但不宜大于 3000mm。民用建筑的电缆夹层净高可稍降低, 但在电缆配置上供人员活动的短距离空间不得小于 1400mm。
- 4 电缆沟、隧道或工作井内通道的净宽, 不宜小于表 5.5.1 所列值。

表 5.5.1 电缆沟、隧道或工作井内通道的净宽 mm

电缆支架配置方式	具有下列沟深的电缆沟			开挖式隧道或封闭式工作井	非开挖式隧道
	<600	600~1000	>1000		
两侧	300*	500	700	1000	800
单侧	300*	450	600	900	800

注: * 浅沟内可不设置支架, 勿需有通道。

由 5.5.1 条第 4 款及表 5.5.1 可知, 当电缆支架配置方式为两侧, 沟深 > 1000mm 时, 电缆沟内通道的净宽不宜小于 700mm。

题 5: 某 300MW 火力发电厂, 厂用电引自发电机, 厂用变主变为 Dyn11yn11, 容量 40/25-25MVA, 厂用电压为 6.3kV, 主变低压侧与 6kV 开关柜用电缆相连, 电缆放在架空桥架上。校正系数 $K_1 = 0.8$, 环境温度为 40℃, 6kV 最大三相短路电流为 38kA, 电缆芯热稳定系数 C 为 150。(2009)

(1) 6kV 中性点经电阻接地, 若单相接地电流为 100A, 此电阻值为 ()。

- (A) 4.64Ω (B) 29.70Ω (C) 36.38Ω (D) 63Ω

答案: [C]

解答过程: 1) 根据《大中型火力发电厂设计规范》(GB 50660—2011) 第 16.3.2 条。

16.3.2 火力发电厂高压厂用电系统中性点接地，可采用下列方式：

- 1 火力发电厂高压厂用电点中性点接地方式可采用不接地、经电阻接地方式。
- 2 当高压厂用电系统的接地电容电流在 10A 以下时，其中性点可采用不接地方式，也可采用经高阻接地方式。当采用经高阻接地方式时，应通过合理选择接地电阻值，控制单相接地故障总电流小于 10A，保护应动作于报警。
- 3 当高压厂用电系统的接地电容电流为 7A 以上时，其中性点可采用电阻接地方式。接地电阻的选择应使发生单相接地故障时，电阻性电流不小于电容性电流，且单相接地故障总电流值令保护装置准确且灵敏地动作与跳闸。

由题知 $I_c = 100A$ ，故选低电阻接地方式。

2) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 18.2.6 条。

18.2.6 当中性点采用低阻接地方式时，电阻值：

$$R_N = \frac{U_N}{\sqrt{3}I_d} = \frac{6.3 \times 1000}{1.732 \times 100} \Omega = 36.37 \Omega$$

● 分析：考试大纲从 2013 年起，《火力发电厂设计技术规程》(DL 5000—2000) 已经不作要求，但这个规范并没有废止。

(2) 变压器到开关柜的电缆放置在架空桥架中，允许工作电流为 6kA 的电力电缆，最合理最经济的为 ()。

- (A) YJV-6/6 7 根 $3 \times 185\text{mm}^2$ (B) YJV-6/6 10 根 $3 \times 120\text{mm}^2$
(C) YJV-6/6 18 根 $1 \times 185\text{mm}^2$ (D) YJV-6/6 24 根 $1 \times 150\text{mm}^2$

● 答案：[B]

● 解答过程：1) 根据《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 第 3.2.3 条。

3.2.3 3~35kV 三相供电回路的电缆芯数的选择，应符合下列规定：

- 1 工作电流较大的回路或电缆敷设于水下时，每回可选用 3 根单芯电缆。
- 2 除上述情况下，应选用三芯电缆；三芯电缆可选用普通统包型，也可选用 3 根单芯电缆绞合构造型。

由此可得 3~35kV 三相供电回路的芯数应选用三芯，故排除 C、D。

2) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 17-1 节（电缆选择）第一条（电缆分类及型号标记），YJV 型电缆，YJ 表示交联聚乙烯，代表绝缘类型。V 表示内护层为聚氯乙烯，缆芯为铜芯。因此 YJV 型电缆为交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套（铜芯）电力电缆。

3) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 232 页表 6-3 计算厂用变压器低压侧回路工作电流

$$I_g = \frac{1.05 S_e}{\sqrt{3} U_e} = \frac{1.05 \times 25 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6.3} A = 2405.7 A$$

4) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》（第 933 页）按持续允许电流选择电力电缆截面，计算公式如下：

$KI_{xu} \geq I_g$

对于空气中敷设的多根电力电缆取 $K = K_t K_1$ ，式中， K_t 为环境温度不同于标准敷设温度时的校正系数，查《电力工程电缆设计规范》（GB 50217—2007）附录 D 表 D.0.1 可得 $K_t = 1.0$ ，由题目可知 $K_1 = 0.8$ ，则 $K = K_t K_1 = 1 \times 0.8 = 0.8$ ，查表 C.0.2-1，可得 6kV 三芯电力电缆空气中敷设时允许载流量如下：

1) 若采用 7 根 3×185 电缆：

$KI_{xu} = 0.8 \times 7 \times 332 \times 1.29A = 2398.4A < I_g = 2405.7A$

2) 若采用 10 根 3×120 电缆：

$KI_{xu} = 0.8 \times 10 \times 246 \times 1.29A = 2538.72A > I_g = 2405.7A$

故选 B 为正确答案。

表 D.0.1 35kV 及以下电缆在不同环境温度时的载流量校正系数									
敷设位置		空气中				土壤中			
环境温度(℃)		30	35	40	45	20	25	30	35
电缆导体最高工作温度(℃)	60	1.22	1.11	1.0	0.86	1.07	1.0	0.93	0.85
	65	1.18	1.09	1.0	0.89	1.06	1.0	0.94	0.87
	70	1.15	1.08	1.0	0.91	1.05	1.0	0.94	0.88
	80	1.11	1.06	1.0	0.93	1.04	1.0	0.95	0.90
	90	1.09	1.05	1.0	0.94	1.04	1.0	0.96	0.92

表 C.0.2-1 6kV 三芯电力电缆空气中敷设时允许载流量 (A)					
绝缘类型		不滴流纸	聚氯乙烯		交联聚乙烯
钢铠护套		有	无	有	无 有
电缆导体最高工作温度(℃)		80	70		90
电缆导体截面(mm²)	10		40		
	16	58	54		
	25	79	71		
	35	92	85		114
	50	116	108		141
	70	147	129		173
	95	183	160		209
	120	213	185		246
	150	245	212		277
	185	280	246		323
	240	334	293		378
	300	374	323		432
	400				505
	500				584
环境温度(℃)		40			

注：1. 适用于铝芯电缆，铜芯电缆的允许持续载流量值可乘以 1.29。
2. 电缆导体工作温度大于 70℃ 时，允许载流量还应符合本规范第 3.7.4 条的规定。

(3) 若电动机容量为 1800kW，电缆长 50m，短路持续时间为 0.25s，电动机短路热效应按 $Q = I^2 t$ 计算，电动机的功率因数和效率乘积 $\eta \cos \varphi$ 为 0.8。则选取电缆的型号为()。

- (A) YJV-6/6 3×95mm²
- (B) YJV-6/6 3×120mm²
- (C) YJV-6/6 3×150mm²
- (D) YJV-6/6 3×180mm²

答案：[C]

► 解答过程：1) 根据《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 附录 E 式 (E. 1. 1-1)、式 (E. 1. 3-2) 关于电缆导体最小截面的确定：

$$S \geq \frac{\sqrt{Q}}{C} \times 10^2 \quad (\text{E. 1. 1-1})$$

$$Q = I^2 t \quad (\text{E. 1. 3-2})$$

可得：

$$S \geq \frac{\sqrt{Q}}{C} \times 10^3 = \frac{\sqrt{I^2 t}}{C} \times 10^3 = \frac{\sqrt{38^2 \times 0.25}}{150} \times 10^3 \text{ mm}^2 = 126.67 \text{ mm}^2$$

可选 $3 \times 150 \text{ mm}^2$ 的电力电缆。

2) 校验电动机回路电缆的电压损失。根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 940 页 (三) 按电压损失校验：

$$\Delta U\% = \frac{173}{U} I_g L (r \cos \theta + x \sin \theta) \leq 5\%$$

式中， $U = 6300 \text{ V}$ ， I_g 为计算工作电流， I_g 的计算如下：

$$I_g = \frac{K_{q.D} P_{e.d}}{\sqrt{3} U_{e.d} \eta \cos \theta} = \frac{6 \times 1800}{\sqrt{3} \times 6 \times 0.8} \text{ A} = 1299 \text{ A}$$

$$L = 50 \text{ m}, \cos \theta = 0.8, \sin \theta = 0.6, r = \frac{\rho}{s} = \frac{1.84}{150} \Omega/\text{km} = 1.227 \times 10^{-2} \Omega/\text{km} (\rho = 1.84 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km})$$

$$x = 0.75r = 9.2 \times 10^{-3} \Omega/\text{km}$$

将以上已知条件代入可得电缆电压损失为

$$\begin{aligned} \Delta U\% &= \frac{173}{U} I_g L (r \cos \theta + x \sin \theta) = \frac{173}{6 \times 10^3} \times 1299 \times 0.05 \times (1.227 \times 10^{-2} \times 0.8 + 9.2 \times 10^{-3} \times 0.6) \\ &= 0.0288 = 2.88\% \leq 5\% \end{aligned}$$

满足要求，故选 C 为正确答案。

► 分析：根据题意，本题不计电动机的短路电流的热效应；另外，原规范中公式 (E. 1. 1-1) 有错误。

(4) 380V 低压接地保护动作时间为 1min，求电缆导体与绝缘层或金属层之间的额定电压为 ()。

- (A) 380V (B) 379V (C) 291V (D) 219V

► 答案：[D]

► 解答过程：根据《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 第 3.3.2 条。

3.3.2 交流系统中电力电缆导体与绝缘屏蔽或金属层之间额定电压的选择，应符合下列规定：

1 中性点直接接地或经低电阻接地的系统，接地保护动作不超过 1min 切除故障时，不应低于 100% 的使用回路工作相电压。

2 除上述供电系统外，其他系统不宜低于 133% 的使用回路工作相电压；在单相接地故障可能持续 8h 以上，或发电机回路等安全性要求较高的情况，宜采用 173% 的使用回路工作相电压。

根据第1款, 本题中保护动作时间为1min, 不大于1min, 故不应低于100%的使用回路工作相电压, 即 $380/1.732V = 219.39V$ 。

(5) 6kV 断路器额定开断电流为 40kA, 短路电流为 38kA, 其中直流分量为 60%, 求此断路器开断直流分量的能力。

- (A) 22.5kA (B) 24kA (C) 32kA (D) 34kA

▶ 答案: [D]

▶ 解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 9.2.5 条及条文说明部分规定: 当断路器安装地点的短路电流直流分量不超过断路器短路开断电流幅值的 20% 时, 额定短路开断电流仅由交流分量来表征, 不必校验断路器的直流分断能力。如果短路电流直流分量超过 20% 时, 应与制造厂协商, 并在技术协议书中明确所要求的直流分量百分数。本题已知断路器额定开断电流为 40kA, 短路电流为 38kA, 根据已知条件: 断路器开断的直流分量峰值为

$$38 \times 60\% \times \sqrt{2} \text{ kA} = 32.24 \text{ kA}$$

以 40kA 核算其直流分量百分数为

$$\frac{32.24}{40\sqrt{2}} \times 100\% = 57\%$$

因此应按 57% 向制造厂提出技术要求。

因此本题选 D 为正确答案。

▶ 分析: 重要的规范还需要多看条文说明。

题 6: 某县在城网改造中拟将城中的 18km、110kV 架空导线换为单芯交联聚氯乙烯铝芯电缆, 采用隧道内敷设。架空线输送容量为 100MVA, 短路电流为 31.5kA, 短路电流持续时间为 0.2s, 单芯交联聚氯乙烯铝芯电缆在空气中一字形敷设时的载流量及电缆的其他参数见表 5-2 (供配电 2006)

表 5-2 载流量及电缆的其他参数

截面/mm ²	240	300	400	500
载流量/A	570	645	735	830

根据上述条件, 回答下列问题。

(1) 假设电缆的热稳定系数为 86, 按短路热稳定条件, 计算本工程电缆允许的最小截面最接近下列哪项数值?

- (A) 173mm² (B) 164mm² (C) 156mm² (D) 141mm²

▶ 答案: [B]

▶ 解答过程: 根据《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 附录 E E.1.1-1 式。

附录 E E.1.1 电缆导体最小允许截面, 由下列公式确定:

$$S \geq \frac{\sqrt{Q}}{C} \times 10^3 = \frac{\sqrt{I^2 t}}{C} = \frac{\sqrt{31.5^2 \times 0.2}}{86} \times 10^3 \text{ mm}^2 \approx 164 \text{ mm}^2$$

▶ 分析: 短路持续时间 t 的取值分好几种情况, 都在附录 E 里。

(2) 已知电缆护层的冲击耐压值为 37.5kV，则电缆保护器通过最大电流时的最大残压应取下列哪项数值？并说明理由。

- (A) 64kV (B) 37.5kV (C) 24kV (D) 26.8kV

答案：[D]

解答过程：《电力工程电缆设计规范》（GB 50217—2007）第 4.1.13 条。

4.1.13 护层电压限制器参数的选择，应符合下列规定：

1 可能最大冲击电流作用下护层电压限制器的残压，不得大于电缆护层的冲击耐压被 1.4 所除数值。

2 系统短路时产生的最大工频感应过电压作用下，在可能长的切除故障时间内，护层电压限制器应能耐受。

切除故障时间应按 5s 以内计算。

3 可能最大冲击电流累积作用 20 次后，护层电压限制器不得损坏。

根据第 1 款可得最大残压为 $37.5/1.4\text{kV} = 26.8\text{kV}$ 。

(3) 电缆终端的设计取决于所要求的工频和冲击耐受电压值、大气污染程度和电缆终端所处的海拔。假设本工程电缆终端安装处海拔为 2000m，则电缆终端外绝缘雷电冲击试验电压最低应为下列何值？并说明原因。

- (A) 325kV (B) 450kV (C) 480kV (D) 495kV

答案：[D]

解答过程：1) 根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 6.0.8 条，即对安装在海拔超过 1000m 地区的电器外绝缘应予校验，当海拔在 4000m 以下时，其实验电压应乘以系数 K，系数 K 的计算公式如下：

$$K = \frac{1}{1.1 - \frac{H}{10000}}$$

带入数据可得：

$$K = \frac{1}{1.1 - \frac{2000}{10000}} = 1.1$$

2) 由《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）表 B.3 查得 110kV 电缆终端外绝缘雷电冲击试验电压为 450kV。

表 B.3 各类设备的雷电冲击耐受电压

kV

系统标称电压 (有效值)	设备最高电压 (有效值)	额定雷电冲击(内、外绝缘)耐受电压(峰值)						截断雷电冲击 耐受电压(峰值)
		变压器	并联电抗器	耦合电容器、电压互感器	高压电力电缆 ^b	高压电器	母线支柱绝缘子、穿墙套管	变压器类设备的内绝缘
3	3.5	40	40	40		40	40	45
6	6.9	60	60	60		60	60	65
10	11.5	75	75	75		75	75	85
15	17.5	105	105	105	105	105	105	115

(续)								
系统标称电压 (有效值)	设备最高电压 (有效值)	额定雷电冲击(内、外绝缘)耐受电压(峰值)						截断雷电冲击 耐受电压(峰值)
		变压器	并联 电抗器	耦合电容 器、电压 互感器	高压电力 电缆 ^b	高压电器	母线支柱 绝缘子、 穿墙套管	变压器类 设备的内 绝缘
20	23.0	125	125	125	125	125	125	140
35	40.5	185/200 ^a	185/200 ^a	185/200 ^a	200	185	185	220
66	72.5	325	325	325	325	325	325	360
		350	350	350	350	350	350	385
110	126	450/480 ^a	450/480 ^a	450/480 ^a	450	450	450	530
		550	550	550	550			
220	252	850	850	850	850	850	935	950
		950	950	950	950 1050	950	950	1050
330	363	1050				1050	1050	1175
		1175	1175	1175	1175 1300	1175	1175	1300
500	550	1425			1425	1425	1425	1550
		1550	1550	1550	1550	1550	1550	1675
			1675	1675	1675	1675	1675	
a 斜线下之数据仅用于该类设备的内绝缘。								
b 对高压电力电缆是指热状态下的耐受电压值。								

3) 电缆终端外绝缘雷电冲击试验电压为 $450 \times 1.1 \text{ kV} = 495 \text{ kV}$ 。

题 7: 有 220kV 变电站位于三级污秽区，海拔高度 600 米，220kV 2 回电源进线，2 回负载出线，每回出线各带负荷 120MVA，采用单母线分段接线，2 台电压等级为 220/110/10kV，容量为 240MVA 主变，负载率为 65%，母线采用管形铝锰合金，户外布置，220kV 电源进线配置了 2000/5 电流互感器，其主保护动作时间为 0.1s，后备保护动作时间为 2s，断路器全分闸时间为 40ms，最大运行方式时，220kV 母线三相短路电流为 30kA，站用变压器容量为 2 台 400kVA，请回答下列问题：(2013)

(1) 在环境温度 35℃，导体最高允许温度为 80℃ 的条件下，计算按照持续工作电流选择 220kV 管形母线的最小规格应为下列哪项数值？

铝锰合金管形导体长期允许载流量（环境温度 ± 25℃）			
导体尺寸 D_1/D_2 (mm)	导体截面 (mm ²)	导体最高允许温度为下值时的载流量 (A)	
		+ 70℃	+ 80℃
φ50/45	273	970	850
φ60/54	539	1240	1072
φ70/64	631	1413	1211
φ80/72	954	1900	1545
φ100/90	1491	2350	2054
φ110/100	1649	2569	2217
φ120/110	1806	2782	2377

- (A) $\phi 60/54\text{mm}$ (B) $\phi 80/72\text{mm}$
(C) $\phi 100/90\text{mm}$ (D) $\phi 110/100\text{mm}$

答案: [C]

解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 7.1.5 条, 在按回路正常工作电流选择导体截面时, 导体的长期允许载流量, 应按所在地区的海拔及环境温度进行修正, 查表 D.11, 可得在环境温度 35°C , 导体最高允许温度为 80°C , 海拔高度 1000m 以下的条件下, 裸导体载流量的综合校正系数为 0.87 。根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 6-3, 母线联络回路的持续工作电流为一个最大电源元件的计算电流, 本题中最大的电源元件为 220kV 进线, 则母线联络回路的持续工作电流为

$$I_g = \frac{240 + (240 \times 2) \times 0.65}{\sqrt{3} \times 220} \text{kA} \approx 1449 \text{kA} \text{ (考虑故障情况下的转移负荷)}$$

故要求按照持续工作电流选择 220kV 管形母线的最小规格的电流范围为

$$I = \frac{I_g}{0.87} = \frac{1449}{0.87} \text{A} \approx 1665 \text{A}$$

考虑一条线路检修, 另一条线路带动所有负荷, 包括 2 回 220kV 出线和变压器负荷, 因此选 $\phi 100/90\text{mm}$ 即可满足要求。

130

(2) 假设该站 220kV 管母线截面系数为 41.4cm^2 , 自重产生的垂直弯矩为 550Nm , 集中荷载产生的最大弯矩为 360Nm , 短路电动力产生的弯矩为 1400Nm , 内过电压风速下产生的水平弯矩为 200Nm , 请计算 220kV 母线短路时, 管母线所承受的应力应为下列哪项数值?

- (A) 1841N/cm^2 (B) 4447N/cm^2
(C) 4621N/cm^2 (D) 5447N/cm^2

答案: [B]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》公式 8-41, 短路时母线的最大弯矩 M_d 按下式计算

$$M_d = \sqrt{(M_{sd} + M_{sf})^2 + (M_{cz} + M_{cf})^2} = \sqrt{(1400 + 200)^2 + (550 + 360)^2} \text{Nm} = 1840.6 \text{Nm}$$

应力

$$\sigma_d = 100 \frac{M_d}{W} = 100 \times \frac{1840.6}{41.4} \text{N/mm}^2 = 4446.1 \text{N/mm}^2$$

(3) 请核算 220kV 电源进线电流互感器 5s 热稳定电流倍数应为下列哪项数值?

- (A) 2.5 (B) 9.4 (C) 9.58 (D) 23.5

答案: [C]

解答过程: 根据《导体与电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 5.0.13 条, 对互感器, 短路电流热效应计算时间取后备保护动作时间加相应断路器的开断时间, 本题中后备保护动作时间为 2s , 断路器全分闸时间为 40ms , 故短路电流热效应时间为 2.04s , 根据 F.6.2 式, 短路电流周期分量的热效应计算如下

$$Q_z = I''^2 t = 30^2 \times 2.04 \text{ kA}^2 \text{ s} = 1836 \text{ kA}^2 \text{ s}$$

根据 F.0.3 式, 非周期分量的热效应计算如下

$$Q_t = TI''^2 = 0.05 \times 30^2 \text{ kA}^2 \text{ s} = 45 \text{ kA}^2 \text{ s}$$

总的热效应为 $Q_d = Q_z + Q_t = (1836 + 45) \text{ kA}^2 \text{ s} = 1881 \text{ kA}^2 \text{ s}$

据条文说明第 15.0.1 第 (9) 式有

$$K_r \geq \frac{\sqrt{Q_d/t}}{I_{ln}} = \frac{\sqrt{1881 \times 10^6/5}}{2000} \approx 9.7, \text{ 最接近的答案是 C。}$$

► 分析: 本题若不计短路电流的非周期分量所引起的热效应, 则答案刚好为 C。

(4) 若该变电站低压侧出线采用 10kV 三芯交联聚乙烯铠装电缆 (铜芯), 出线回路额定电流为 260A, 电缆敷设在户内梯架上, 每层 8 根电缆无间隙 2 层叠放。电缆导体最高工作温度为 90℃, 户内环境温度为 35℃。请计算选择电缆的最小截面应为下列哪项数值?

- (A) 95mm² (B) 150mm² (C) 185mm² (D) 300mm²

电缆在空气中为环境温度 40℃、直埋为 25℃时的载流量数值

10kV 三芯电力电缆允许载流量(铝芯)(A)							
绝缘类型		不滴流纸		交联聚乙烯			
钢铠护套				无		有	
电缆导体最高工作温度(℃)		65		90			
敷设方式		空气中	直埋	空气中	直埋	空气中	直埋
电缆导体截面 (mm ²)	70	118	138	178	152	173	152
	95	143	169	219	182	214	182
	120	168	196	251	205	246	205
	150	189	220	283	223	278	219
	185	218	246	324	252	320	247
	240	261	290	378	292	373	292
	300	295	325	433	332	428	328

► 答案: [C]

► 解答过程: 电缆导体最高工作温度为 90℃, 户内环境温度为 35℃, 根据《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 附录 D 表 D.0.1 可得 $K_1 = 1.05$ 。电缆敷设在户内梯架上, 每层 8 根电缆无间隙 2 层叠放, 查表 D.0.6 可得电缆桥架上无间距配置多层并列电缆载流量的校正系数为 $K_1 = 0.65$, 则 $K = K_1 K_1 = 1.05 \times 0.65 = 0.6825$, 题目要求的是铜芯电缆的截面, 其载流量为铝芯的 1.29 倍。

电缆截面(mm ²)	载流量(A)(铝芯)	修正后的载流量(A)(铜芯)
95mm ²	214	$0.6825 \times 214 \times 1.29 = 188.4$
150mm ²	278	$0.6825 \times 278 \times 1.29 = 244.8$
185mm ²	320	$0.6825 \times 320 \times 1.29 = 281.7$
300mm ²	428	$0.6825 \times 428 \times 1.29 = 376.8$

因出线回路额定电流为 260A, 故选 300mm² 方可满足要求。

(5) 请计算保护电力变压器的熔断器熔管, 熔体的额定电流, 并说明理由, 系数取 1.3。

- (A) 熔管 25A, 熔体 30A (B) 熔管 50A, 熔体 30A
(C) 熔管 20A, 熔体 32A (D) 熔管 50A, 熔体 32A

答案：[B]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》公式 6-6，保护 35kV 及以下电力变压器的高压熔断器，其熔体的额定电流可按下式选择

$$I_{nR} = KI_{bgm} = 1.3 \times \frac{1.05S_N}{\sqrt{3}U_N} = 1.3 \times \frac{1.05 \times 400}{\sqrt{3} \times 10.5} \text{A}, \text{取 } 30 \text{A}$$

分析：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 17.0.5 条，熔管的额定电流大于熔体的额定电流。

第六章 电气设备布置及配电装置设计

一、大纲要求 ★★★

- 1) 熟悉电气设备布置的要求;
- 2) 掌握高压配电装置的设计;
- 3) 了解特殊地区的电气设备布置及配电装置设计。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 18 分,其中专业知识占 10 分左右,案例占 8 分左右。考点集中,考试题目难度一般。答题依据主要有《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第十章、《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006)、《3~110kV 高压配电装置设计规范》(GB 50060—2008)、《水利水电工程高压配电装置设计规范》(SL 311—2004)等。重点考查高压配电装置的环境条件、导体和电器设备的选择、配电装置的型式和布置及屋外、屋内配电装置的最小安全净距等。随着 GIS 配电装置越来越广泛地使用,近年来加大了对 GIS 配电装置的考查力度。

133

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

(1) 在电力系统中,220kV 高压配电装置非出线方向的围墙外侧为居民区时,其静电感应场强水平(离地 1.5m 空间场强)不宜大于下列哪项值?(2012)

- (A) 3kV/m (B) 5kV/m (C) 10kV/m (D) 15kV/m

▶ 答案: [B]

▶ 依据:《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006)第 6.0.9 条:“配电装置围墙外侧(非出线方向,围墙外为居民区时)的静电感应场强水平(离地 1.5m 空间场强)不宜大于 5kV/m。”

(2) 配电装置中,相邻带电导体的额定电压不同时,其之间最小距离应按下列哪个条件确定?(2012)

- (A) 按较高额定电压的 A2 值确定 (B) 按较高额定电压的 D 值确定
(C) 按较低额定电压的 A2 值确定 (D) 按较低额定电压的 B1 值确定

▶ 答案: [B]

▶ 依据:《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006)第 8.1.4 条:“配电装置中,相邻带电部分的额定电压不同时,应按较高的额定电压确定其最小安全净距。”

分析：D 值为平行的不同时停电检修的无遮拦带电部分之间的距离。

(3) 对于 GIS 配电装置避雷器的配置，以下哪种表述不正确？(2012)

- (A) 与架空线连接处应装设避雷器
- (B) 避雷器宜采用敞开式
- (C) GIS 母线不需装设避雷器
- (D) 避雷器的接地端应与 GIS 管道金属外壳连接

答案：[C]

依据：《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 第 5.2.2 条：“GIS 配电装置避雷器的配置，应在与架空线路连接处装设避雷器。该避雷器宜采用敞开式，其接地端应与 GIS 管道金属外壳连接。GIS 母线是否装设避雷器，需经雷电侵入波过电压计算确定。”

(4) 某变电所中的 110kV GIS 配电装置由数个单元间隔组成，每单元间隔宽 1.5m 长 4.5m 布置在户内。户内 GIS 配电装置的两侧应设置安装检修和巡视的通道，此 GIS 室的净宽，最小不宜小于 ()。(2011)

- (A) 4.5m
- (B) 6m
- (C) 7.5m
- (D) 9.0m

答案：[C]

依据：《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 第 9.3.4 条：“屋内 GIS 配电装置两侧应设置安装检修和巡视通道，主通道宜靠近断路器侧，宽度宜为 2000mm ~ 3500mm，巡视通道不应小于 1000mm”。考虑一种最小情况，此 GIS 室布置在墙边，布置示意图如图 6-1 所示。则此 GIS 的净宽范围为 $[1 + (2 \sim 3.5) + 4.5] \text{m} = (7.5 \sim 9) \text{m}$ ，最小为 7.5m。

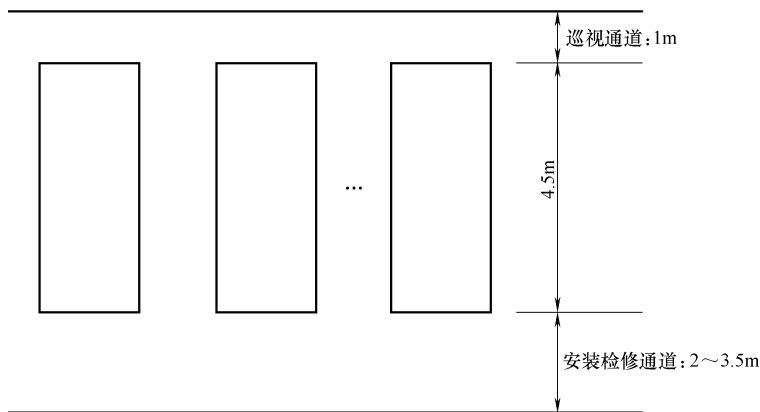


图 6-1 布置示意图

分析：本题需要对单元间隔的走向有直观的了解，否则不易作答。

(5) 变电所中，电容器装置内串联电抗器的布置和安装设计要求，以下不正确的是 ()。(2011)

- (A) 户内油浸铁心串联电抗器，其油量超过 100kg 的应单独设防爆间和储油设施
- (B) 干式空心串联电抗器宜采用三相叠装式，可以缩小安装场地

- (C) 户内干式空心串联电抗器布置时,应避开电气二次弱电设备,以防电磁干扰
 (D) 干式空心串联电抗器支承绝缘子的金属底座接地线,应采用放射形或开口环形

► 答案: [B]

► 依据:《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008)第 8.3.1 条:“油浸式铁心串联电抗器,宜布置在屋外;当污秽较重的工矿企业区采用普通设备时,应布置在屋内。屋内安装的油浸式铁心串联电抗器,其油量超过 100kg 时,应单独设置防爆间隔和贮油设施”,可知 A 答案正确;根据第 8.3.2 条:“干式空心串联电抗器,宜采用屋外分相布置的水平排列或三角形排列。三相叠装时的安装设计顺序,应符合制造厂规定”,可知 C 答案正确;根据第 8.3.2 条第 1 款及条文说明可知 B 答案错误;根据第 8.3.4 条:“干式空心串联电抗器对其四周、上部、下部和基础中的金属构件的距离,以及形成闭合回路的金属构件的距离,均应满足防电磁感应的要求”,可知 D 答案正确。

(6) 在高海拔地区,某变电所中高压配电装置的 A1 值经修正为 1900mm,此时无遮拦导体至地面之间的最小安全净距应为多少?(2011)

- (A) 3800mm (B) 3900mm (C) 4300mm (D) 4400mm

► 答案: [D]

► 依据:《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006)表 8.1.1 条可知 A1 应取 1800mm,现修正为 1900mm,增加了 100mm,故 C 值(即无遮拦裸导体至地面之间的最小安全净距)应该相应增加 100mm,为 $4300\text{mm} + 100\text{mm} = 4400\text{mm}$ 。

(7) 发电厂、变电所中,对一台 1000kVA 室内布置的油浸变压器,考虑就地检修。设计采用的下列尺寸中,哪一项不是规程允许的最小尺寸?(2011)

- (A) 变压器与后壁间 600mm
 (B) 变压器与侧壁间 1400mm
 (C) 变压器与门间 1600mm
 (D) 室内高度按吊芯所需的最小高度加 700mm

► 答案: [A]

► 依据:《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006)第 8.4.6 条:“对于就地检修的室内油浸变压器,室内高度可按吊芯所需的最小高度再加 700mm,宽度可按变压器两侧各加 800mm 确定。”查表 8.4.6 可得容量为 1000kVA 及以下的油浸变压器与后壁的最小净距为 600mm,考虑就地检修,应在两侧各加 800mm,因此 A 答案错误,应该为 1400mm。

(8) 某 10kV 配电室,采用移开式高压开关柜双列布置,其操作通道最小宽度应为下列何值?(2008)

- (A) 单车长 + 1200mm (B) 单车长 + 1000mm
 (C) 双车长 + 1200mm (D) 双车长 + 900mm

► 答案: [D]

► 依据:《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006)8.4.5 条及表 8.4.5。

8.4.5 屋内配电装置采用金属封闭开关设备时，室内各种通道的最小宽度（净距），不宜小于表 8.4.5 所列数值：

表 8.4.5 配电装置室内各种通道的最小宽度（净距） mm

布置方式	通道分类		
	维护通道	操作通道	
		固定式	移开式
设备单列布置时	800	1500	单车长 + 1200
设备双列布置时	1000	2000	双车长 + 900

注：1. 通道宽度在建筑物的墙柱个别突出处，允许缩小 200mm。
2. 手车式开关柜不需要进行就地检修时，其通道宽度可适当减小。
3. 固定式开关柜靠墙布置时，柜背离墙距离宜取 50mm。
4. 当采用 35kV 开关柜时，柜后通道不宜小于 1000mm。

分析：配电装置室内各种通道的最小宽度全在这个表里，一目了然。

136

(9) GIS 配电装置在正常运行条件下，外壳上的感应电压不应大于下列何值？(2008)

- (A) 12V (B) 24V (C) 50V (D) 100V

答案：[B]

依据：《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 第 5.2.3 条：“GIS 配电装置感应电压不应危及人身和设备的安全。外壳和支架上的感应电压，正常运行条件下不应大于 24V，故障条件下不应大于 100V。”

分析：这一条还规定，GIS 配电装置外壳感应电压在故障条件下不应大于 100V。

(10) 屋内 GIS 配电装置两侧应设置安全检修和巡视通道，巡视通道不应小于 ()。(2008)

- (A) 800mm (B) 900mm (C) 1000mm (D) 1100mm

答案：[C]

依据：《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 第 9.3.4 条。

9.3.4 屋内 GIS 配电装置两侧应设置安全检修和巡视的通道，主通道宜靠近断路器侧，宽度宜为 2000mm ~ 3500mm；巡视通道不应小于 1000mm。

(11) 设计最大风速超过下列哪项数值的地区，在变电所的户外配电装置中，宜采取降低电气设备的安装高度，加强设备与基础的固定等措施？(2013)

- (A) 15m/s (B) 20m/s (C) 30m/s (D) 35m/s

答案：[D]

依据：《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 第 6.0.5 条。

6.0.5 选择 330kV 及以下屋外配电装置的导体和电气设备时的最大风速，可采用离地 10m 高，30 年一遇 10min 平均最大风速。选择 500kV 屋外配电装置的导体和电气设备时的最大风速，宜采用离地 10m 高，50 年一遇 10min 平均最大风速。最大设计风速超过 35m/s 的地区，在屋外配电装置的布置中，应采取相应措施。

(12) 变电所中, 配电装置的设计应满足正常运行、检修、短路和过电压时的安全要求, 从下列哪级电压开始, 配电装置内设备遮栏外的静电感应场强不宜超过 10kV/m ? (离地 1.5m 空间场强) (2013)

(A) 110kV 及以上 (B) 220kV 及以上 (C) 330kV 及以上 (D) 500kV 及以上

▶ 答案: [C]

▶ 依据: 《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 第 6.0.9 条。

6.0.9 330kV 及以上的配电装置内设备栅栏外的静电感应场强水平 (离地 1.5m 空间场强), 不宜超过 10kV/m , 少部分地区可允许达到 15kV/m 。配电装置围墙外侧 (非出线方向, 围墙外为居民区时) 的静电感应场强水平 (离地 1.5m 空间场强) 不宜大于 5kV/m 。

(13) 发电厂的屋外配电装置, 为防止外人任意进入, 其围栏高度宜至少为下列哪项数值? (2013)

(A) 1.5 米 (B) 1.7 米 (C) 2.0 米 (D) 2.3 米

▶ 答案: [A]

▶ 依据: 《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 第 8.4.8 条, 即发电厂的屋外配电装置, 其周围设置高度不低于 1500mm 的围栏, 并在其醒目的地方设置警示牌。

▶ 分析: 本题的题眼在于发电厂和屋外配电装置。若根据《大中型火力发电厂设计规范》(GB 50660—2011) 第 4.3.12 条, “厂区围墙的平面布置应在节约集约用地的前提下力求规整, 除有特殊要求外, 宜为实体围墙, 高度不低于 2.2m 。有关功能区域的围墙或围栏设置应符合下列规定: 1 屋外高压配电装置区域的厂内部分应设置 1.8m 高的围栅, 变压器场地周围应设置 1.5m 高的围栅。”则没有相应的答案, 其实题干已经指出, 要求的是“围栏”的高度。

(14) 某一工厂设有高、低压配电室, 下列布置原则中, 哪条不符合设计规程规范的要求? (2013)

(A) 成排布置的高、低压配电屏 (柜), 其长度超过 6m 时, 屏 (柜) 后的通道应设 2 个出口

(B) 布置有成排配电屏的低压配电室, 当两个出口之间的距离超过 15m 时, 其间尚应增加出口

(C) 布置有成排配电柜的高压配电室, 当两个出口之间的距离超过 15m 时, 其间尚应增加出口

(D) 双排低压配电屏之间有母线桥, 母线桥护网或外壳的底部距地面的高度不应低于 2.2m

▶ 答案: [D]

▶ 依据: 《低压配电设计规范》(GB 50054—2011) 第 4.2.4 条、第 7.4.1 条。

4.2.4 成排布置的配电屏，其长度超过 6m 时，屏后的通道应设 2 个出口，并宜布置在通道的两端，当两个出口之间的距离超过 15m 时，其间尚应增加出口。

7.4.1 除配电室外，无遮栏的裸导体至地面的距离，不应小于 3.5m；采用防护等级不低于现行国家标准《外壳防护等级（IP 等级）》GB 4208 规定的 IP2X 的网孔遮栏时，不应小于 2.5m。网状遮栏至裸导体的间距，不应小于 100mm；板状遮栏与裸导体的间距，不应小于 50mm。

分析：《低压配电设计规范》（GB 50054—2011）第 4.2.4 条并没有指明是高压配电室还是低压配电室，因此 A、B、C 答案均为正确答案。

(15) 某变电所中装有几组 35kV 电容器，每相由 4 个串联段组成，单台电容器的额定电压有 5.5kV 和 6kV 两种。安装在绝缘平台上，绝缘平台分两层。单台电容器的绝缘水平最低不应低于：(2013)

- (A) 6.3kV 级 (B) 10kV 级 (C) 20kV 级 (D) 35kV 级

答案：[B]

依据：《并联电容器装置设计规范》（GB 50227—2008）第 5.2.3 条和条文说明第 5.2.3 条。

5.2.3 电容器的绝缘水平，应按电容器接入电网处的电压等级、由电容器组接线方式确定的串并联组合、安装方式要求等，根据电容器产品标准选取。

条文说明 5.2.3 确定电气设备的绝缘水平是电气设计的最基本原则之一。电容器的绝缘选择应遵守这一通用原则，在国家现行标准中对各级电压的电气设备绝缘水平均有明确规定。电容器绝缘水平应根据串联段数和安装方式，提出不同要求；落地安装时不应低于同级电压电气设备的绝缘水平；安装于绝缘框（台）架上的电容器，应根据单台电容器额定电压和绝缘平台分成数综合考虑确定，例如：35kV 电容器组，每相由 4 个串段组成，单台电容器额定电压为 5.5kV（对应于 $K=5\%$ ）或 6kV（对应于 $K=12\%$ ），绝缘平台分两层，单台电容器绝缘水平不应低于 10kV 级。

(16) 某 500kV 变电所中，设有一组单星形接线串联了电抗率 12% 电抗器的 35kV 电容器组，电容器组每相串联段数为 4，此电容器组中的电容器额定电压应选为：(2013)

- (A) 4kV (B) 5kV (C) 6kV (D) 6.6kV

答案：[D]

依据：《并联电容器装置设计规范》（GB 50227—2008）第 5.2.2 条及条文说明 5.2.2 条。

5.2.2 电容器额定电压选择,应符合下列要求:

- 1 宜按电容器接入电网处的运行电压进行计算。
- 2 电容器应能承受 1.1 倍长期工频过电压。
- 3 应计入串联电抗器引起的电容器运行电压升高。接入串联电抗器后,电容器运行电压应按下式计算:

$$U_c = \frac{U_s}{\sqrt{3}S} \cdot \frac{1}{1-K} \quad (5.2.2)$$

式中 U_c ——电容器的运行电压 (kV);

U_s ——并联电容器装置的母线运行电压 (kV);

S ——电容器组每相的串联段数;

K ——电抗率。

条文说明 5.2.2 选择电容器的额定电压可先由公式求出计算值,再从电容器的标准系数中选取,电容器额定电压的计算公式如下:

$$U_{CN} = \frac{1.05 U_{SN}}{\sqrt{3}S(1-K)} \quad (2)$$

把已知条件带入式 (5.2.2) 和式 (2) 可得电容器的运行电压和额定电压分别为:

$$U_c = \frac{35}{\sqrt{3} \times 4} \cdot \frac{1}{1-0.12} \text{ kV} \approx 5.74 \text{ kV}, \text{取 } 6 \text{ kV}。$$

$$U_{CN} = \frac{1.05 \times 35}{\sqrt{3} \times 4 \times (1-0.12)} \text{ kV} \approx 6.03 \text{ kV}, \text{取 } 6 \text{ kV}。$$

► 分析: 比较这两个计算公式可知额定电压是运行电压的 1.05 倍。本题求的是额定电压,应该按后者计算。

2. 多项选择题

(1) 户外配电装置中,下列哪几种净距用 C 值校验? (2011)

- (A) 无遮拦裸导体与地面之间的距离
- (B) 无遮拦裸导体与建筑物、构筑物顶部的距离
- (C) 穿墙套管与户外配电装置地面的距离
- (D) 带电部分与建筑物、构筑物边缘的距离

► 答案: [A、B]

► 依据:《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 表 8.1.1。

(2) 变电所中配电装置的布置应结合电气接线、设备型式、总体布置综合考虑,下列哪几种 110kV 户外敞开式配电装置宜采用中型布置? (2011)

- (A) 双母线接线,软母配双柱隔离开关
- (B) 双母线接线,管母配双柱隔离开关
- (C) 单母线接线,软母配双柱隔离开关

(D) 双母线接线，软母配单柱隔离开关

▶ 答案：[A、D]

▶ 依据：根据《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）第 8.3.4 条：“35kV ~ 110kV 电压等级，双母线接线，当采用软母线配普通双柱式或单柱式隔离开关时，屋外敞开式配电装置宜采用中型布置。断路器宜采用单列布置或双列式布置”，可知 A、D 答案正确。根据第 8.3.4 条：“110kV 电压等级，双母线接线，当采用管型母线配双柱式隔离开关时，屋外敞开式配电装置宜采用半高型布置，断路器宜采用单列式布置”，故 B 答案错误。根据《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）第 8.3.5 条：“35kV ~ 110kV 电压等级，单母线接线，当采用软母线配普通双柱式隔离开关时，屋外敞开式配电装置应采用中型布置。断路器宜采用单列式布置或双列式布置”，故 C 答案错误。

(3) 对 GIS 配电装置设备配置的规定，下列哪些是正确的？（2011）

- (A) 出线的线路侧采用快速接地开关
- (B) 母线侧采用快速接地开关
- (C) 110 ~ 220kV GIS 配电装置母线避雷器和电压互感器应装设隔离开关
- (D) GIS 配电装置应在与架空线路连接处装设避雷器

▶ 答案：[A、B、D]

▶ 依据：根据《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）第 5.2.1、5.2.2 条。

5.2.1 对气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）配电装置，接地开关的配置应满足运行检修的要求。与 GIS 配电装置连接并需单独检修的电气设备、母线和出线，均应配置接地开关。一般情况下，出线回路的线路侧接地开关和母线接地开关应采用具有合动稳定电流能力的快速接地开关。110kV ~ 220kV GIS 配电装置母线避雷器和电压互感器可不装设隔离开关。

5.2.2 GIS 配电装置避雷器的配置，应在与架空线路连接处装设避雷器。该避雷器宜采用敞开式，其接地端应与 GIS 管道金属外壳连接。GIS 母线是否装设避雷器，需经雷电侵入波过电压计算确定。

根据 5.2.1 条可知 A、B 答案正确，C 答案错误；根据第 5.2.2 条可知 D 答案正确。

(4) 安装于户内的所用变压器的高低电压瓷套管底部距地面高度小于下列哪些值时，必需装设固定遮拦？（2011）

- (A) 2500mm
- (B) 2300mm
- (C) 1900mm
- (D) 1200mm

▶ 答案：[B、C、D]

▶ 依据：《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）第 8.1.3 条：“电气设备外绝缘体最低部位距地小于 2300mm 时，应装设固定遮栏。”

(5) 电力工程中，选择 330kV 高压配电装置内导线截面及导线型式的控制条件是下列哪些因素？（2011）

- (A) 负荷电流
- (B) 电晕

(C) 无线电干扰

(D) 导线表面的电场强度

► 答案: [B、C]

► 依据:《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第8-3节软导线一、一般要求第(5)条:“对于330kV及以上的配电装置,电晕和无线电干扰则是选择导线结构型式的控制条件。”

(6) 110kV 配电装置中管型母线采用支持式安装时,下列哪些措施是正确的?(2008)

(A) 应采取防止端部效应的措施

(B) 应采取防止微风振动的措施

(C) 应采取防止母线热胀冷缩的措施

(D) 应采取防止母线发热的措施

► 答案: [A、B、C]

► 依据:《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006)第8.3.8条。

8.3.8 110kV及以上配电装置当采用管型母线时,管型母线宜选用单管结构。其固定方式可采用支持式或悬吊式。当地震烈度为8度及以上时,宜采用悬吊式。

支持式管型母线在无冰无风状态下的挠度不宜大于 $(0.5 \sim 1.0)D$ (D 为导体直径),悬吊式管型母线的挠度可放宽。

采用支持式管型母线时还应分别对端部效应、微风振动及热胀冷缩采取措施。

141

(7) 高压屋外配电装置带电距离校验时,下列表述哪些是正确的?(2013)

(A) 耦合电容器(或电容式电压互感器)的引线 with 旁路母线边相之间距离不得小于 B_1 值

(B) 两组母线隔离开关之间或出线隔离开关与旁路隔离开关之间的距离,要考虑其中任何一组在检修状态时对另一组带电的隔离开关之间的距离满足 B_1 值

(C) 当运输道路设在电流互感器与断路器之间时,被运输设备与两侧带电体之间的距离(考虑晃动时)按 B_1 值校验

(D) 网状遮栏至带电部分按 B_1 值校验

► 答案: [B、C]

► 依据:《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006)表8.1.1。

有以下4种情况,需要对 B_1 进行校验:

1. 设备运输时,其设备外廓至无遮栏带电部分之间
2. 交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间
3. 栅状遮栏至绝缘体和带电部分之间
4. 带电作业时带电部分至接地部分之间

► 分析: A答案中耦合电容器(或电容式电压互感器)的引线 with 旁路母线边相之间距离属于平行的不同时间停电检修的无遮栏带电部分之间,应按 D 值校验, D答案中网状遮栏至带电部分之间的距离按 B_2 值校验。

(8) 在 110kV 配电装置设计和导体、电器选择时，其设计最大风速不应采用下列哪些项？(2013)

- (A) 离地 10m 高，30 年一遇 10min 平均最大风速
- (B) 离地 10m 高，20 年一遇 10min 平均最大风速
- (C) 离地 15m 高，10 年一遇 10min 平均最大风速
- (D) 离地 10m 高，30 年一遇 20min 平均最大风速

答案：[B、C、D]

依据：《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 第 6.0.5 条。

6.0.5 选择 330kV 及以下屋外配电装置的导体和电气设备时的最大风速，可采用离地 10m 高，30 年一遇 10min 平均最大风速。选择 500kV 屋外配电装置的导体和电气设备时的最大风速，宜采用离地 10m 高，50 年一遇 10min 平均最大风速。最大设计风速超过 35m/s 的地区，在屋外配电装置的布置中，应采取相应措施。

3. 案例题

题 1：某发电厂装有两台 300MW 机组，经主变升压至 220kV 配电装置，屋外配电装置母线采用支持式管型母线，为双母线接线分相中型布置，母线采用 $\phi 120/110$ 铝锰合金管，母联间隔跨线采用架空软导线。(2012)

(1) 母联间隔有一跨跳线，请计算跳线的最大摇摆弧垂的推荐值为下列哪项值？

(导线悬挂点至梁底 b 为 20cm，最大风偏时耐张线夹至绝缘子串悬挂点的垂直距离 f 为 65cm，最大风偏时的跳线与垂直线之间的夹角为 45° ，跳线在无风时的垂直弧垂 F 为 180cm)，详见图 6-2。

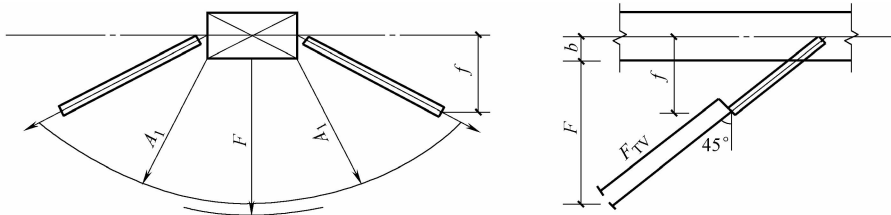


图 6-2 跳线的摆动弧垂

- (A) 135cm
- (B) 148.5cm
- (C) 190.9cm
- (D) 210cm

答案：[D]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式(附 10-20)、式(附 10-24)有：

$$f_{TV} = 1.1 f_T = 1.1 \times \frac{f_T + b - f_j}{\cos \alpha_0} = 1.1 \times \frac{180 + 20 - 65}{\cos 45^\circ} \text{cm} \approx 210 \text{cm}$$

(2) 母线选用管型母线支持式结构，相间距离为 3m，母线支持绝缘子间距为 14m，支持金具长为 1m (一侧)，母线三相短路电流为 36kA，冲击短路电流为 90kA，二相短路电流冲击值为 78kA，请计算当短路时对母线产生的最大电力是下列哪项值？

- (A) 209.1kg (B) 248.4kg (C) 330.7kg (D) 358.3kg

► 答案: [C]

► 解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式(8-8)有:

$$F = 17.248 \frac{l}{a} i_{ch}^2 \beta \times 10^{-2} = 17.248 \times \frac{1400 - 200}{300} \times 90^2 \times 0.58 \times 10^{-2} \text{ N} = 3241.2 \text{ N}$$

$$m = \frac{F}{g} = \frac{3241.2}{9.8} \text{ kg} = 330.7 \text{ kg} \text{ (其中 } l \text{ 是母线的长度,应减去金具的长度,两侧长度共计2m)}$$

► 分析: 根据第343页的内容,为了安全,工程计算一般取 $\beta = 0.58$ 。

(3) 配电装置的直击雷保护采用独立避雷针,避雷针高为35m,被保护物高为15m,当要求其中两支避雷针的联合保护范围的宽度为30m时,请计算这两支避雷针之间允许的最大距离和单支避雷针对被保护物的保护半径是下列哪组数值?

- (A) $r = 20.9\text{m}$, $D = 60.45\text{m}$ (B) $r = 20.9\text{m}$, $D = 72\text{m}$
(C) $r = 22.5\text{m}$, $D = 60.45\text{m}$ (D) $r = 22.5\text{m}$, $D = 72\text{m}$

► 答案: [A]

► 解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)第

5.2.1条相关计算公式计算如下:

1) 已知:

$$h = 35\text{m}, P = \frac{5.5}{\sqrt{h}} = \frac{5.5}{\sqrt{35}} \approx 0.93, h_x = 15\text{m}$$

2) 根据式(6),在被保护物高度为 h_x 的水平面上的保护半径为

$$r_x = (1.5h - 2h_x)P = (1.5 \times 35 - 2 \times 15) \times 0.93\text{m} \approx 20.9\text{m}$$

3) 根据图4,两避雷针间的距离 D 计算如下:

$$b_x = 15\text{m}, h_a = h - h_x = (35 - 15)\text{m} = 20\text{m}, P = 0.93, \frac{h_x}{h} = \frac{15}{35} = 0.43$$

$$\Rightarrow \frac{b_x}{h_a P} = \frac{15}{20 \times 0.93} \approx 0.8$$

$$\Rightarrow \frac{D}{h_a P} = 3.25$$

$$\Rightarrow D = 3.25 \times h_a P = 3.25 \times 20 \times 0.93\text{m} \approx 60.45\text{m}$$

► 分析: b_x 为两等高避雷针间保护范围一侧的最小宽度,应该取两支避雷针的联合保护范围的宽度30m的一半。本题是求两等高避雷针间联合保护范围一侧的最小宽度 b_x 的逆过程,有一定难度。

(4) 母线支持绝缘子间距为14m,支持金具长为1m(一侧),母线自重为4.96kg/m,母线上的隔离开关静触头重为15kg,请计算母线挠度是下列哪项值? ($E = 7.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^3$, $J = 299 \text{ cm}^4$)

- (A) 2.75cm (B) 3.16cm (C) 3.63cm (D) 4.89cm

► 答案: [C]

► 解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第347页有关公式计算如下:

1) 母线自重产生的挠度为

$$y_1 = 0.521 \frac{q_1 L_{js}^4}{100EJ} = 0.521 \times \frac{4.96 \times (14-2)^4 \times 10^6}{100 \times 7.1 \times 10^5 \times 299} \text{cm} = 2.52 \text{cm}$$

2) 集中荷载（母线隔离开关静触头重）产生的挠度为

$$y_2 = 0.911 \frac{PL_{js}^3}{100EJ} = 0.911 \times \frac{15 \times (14-2)^3 \times 10^6}{100 \times 7.1 \times 10^5 \times 299} \text{cm} = 1.11 \text{cm}$$

3) 合成挠度为

$$y = y_1 + y_2 = (2.52 + 1.11) \text{cm} = 3.63 \text{cm}。$$

分析：本题只能按照例题的思路来做，否则得不到正确结果。金具长一侧是 1m，两侧是 2m， $L_{js} = (14-2) \text{m} = 12 \text{m}$ 。

(5) 出线隔离开关采用双柱型，母线隔离开关为剪刀型，下面列出的配电装置的最小安全净距中，哪一条是错误的？并说明理由。

- (A) 无遮拦架空线对被穿越的房屋屋面间 4300mm
- (B) 出线隔离开关断口间 2000mm
- (C) 母线隔离开关动、静触头间 2000mm
- (D) 围墙与带电体间 3800mm

答案：[C]

解答过程：本题的隔离开关采用双柱式剪刀型，根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 表 8.1.1 有：无遮拦裸导体至建筑物、构筑物顶部之间的距离为 C 值，对 220J 取 4300mm，A 答案对；对普通隔离开关，断路器和隔离开关的断口两侧引线带电部分之间的距离为 A₂ 值，对 220J 为 2000mm，B 答案对，对双柱式剪刀型隔离开关，根据条文说明 11.0.7 条，C 答案错误；带电部分与建筑物、构筑物的边沿部分之间的距离为 D，对 220J 系统为 3800mm，D 答案对。

分析：若隔离开关为单柱垂直开启式，根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 11.0.7 条：“单柱垂直开启式隔离开关在分闸状态下，动静触头间的最小电气距离不应小于配电装置的最小安全净距 B₁ 值。”

题 2：某风电场升压站的 110kV 主接线采用变压器线路组接线，一台变压器容量为 100MVA，主变压器短路阻抗为 10.5%，110kV 配电装置采用屋外敞开式，升压变压器地处海拔 1000m 以下，站区属多雷区。(2012)

(1) 图 6-3 为风电场升压站的断面图，该站的土壤电阻率 $\rho = 500 \Omega \cdot \text{m}$ ，请问图 6-3 中布置上有几处设计错误？并简要说明原因。

- (A) 1 处
- (B) 2 处
- (C) 3 处
- (D) 4 处

答案：[D]

解答过程：《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 表 8.1.1 和图 8.1.1-3：设备运输时，其设备外廓至无遮拦带电部分之间的距离为 B₁，对 110J 为 1750mm，而图 6-3 中为 1400mm。根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 7.1.8 条：当土壤电阻率大于 350 $\Omega \cdot \text{m}$ 时，变压器门型架构上不允许装设避雷针、避雷

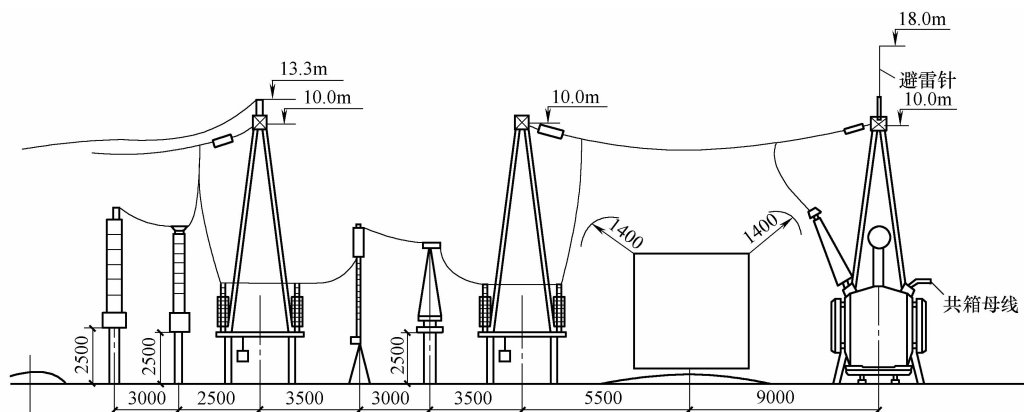


图 6-3 风电场升压站的断面图

线，而图 6-3 中装设了避雷针；图 6-3 中电流互感器和断路器的位置反了，算 1 个错误；根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）条文说明 7.5.3 条可知共箱封闭母线主要用于单机容量为 200MW 及以上的发电厂的厂用回路，故本处不应采用共箱母线。

145

(2) 假设该站属 II 级污秽区，请计算变压器门型架构上的绝缘子串应为多少片？（悬式绝缘子为 XWP-7 型，单片泄漏距离为 40cm）

- (A) 7 片 (B) 8 片 (C) 9 片 (D) 10 片

答案：[B]

解答过程：1) 根据《高压架空线路和发电厂、变电所环境污区分级及外绝缘选择标准》（GB/T 16434—1996）表 2 可知 II 级污秽区 110kV 配电装置泄漏比距 $\lambda = 2.0 \text{ cm/kV}$ 。

2) 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 10.2.1 条或《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 6-7 节第四部分悬式绝缘子片数选择，按照工频电压和泄漏比距选择绝缘子片数，故有

$$m \geq \frac{\lambda U_m}{K_e L_0} = \frac{2.0 \times 126}{1 \times 40} = 6.3$$

10.2.1 0 级污秽区线路绝缘子串

a) 每串绝缘子片数应符合工频电压爬电距离的要求，同时符合操作过电压的要求。

1) 由工频电压爬电距离要求的线路每串绝缘子片数应符合下式要求：

$$m \geq \frac{\lambda U_m}{K_e L_0} \quad (23)$$

式中 m ——每串绝缘子片数；

U_m ——系统最高电压，kV；

λ ——爬电比距，330kV 及以上为 1.45，220kV 及以下为 1.39，cm/kV；

L_0 ——每片悬式绝缘子的几何爬电距离，cm；

K_e ——绝缘子爬电距离的有效系数，主要由各种绝缘子爬电距离在实验和运行中提高污秽耐压的有效性来确定；并以 XP—70 型绝缘子作为基础，其 K_e 值取 1。

3) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 21.0.9 条: 选择悬式绝缘子应考虑绝缘子的老化, 每串绝缘子要预留的零值绝缘子对 35~220kV 悬垂绝缘子串预留 1 片零值绝缘子, 故总的绝缘子片数应为 7.3 片, 故本题选 B。

(3) 若进行该风电场升压站 110kV 母线侧单相短路电流计算, 取 $S_j = 100\text{MVA}$, 经过计算网络的化简, 各序计算总阻抗如下:

$X_{1\Sigma} = 0.1623$, $X_{2\Sigma} = 0.1623$, $X_{0\Sigma} = 0.12$ 请按照《电力工程电气设计手册 电气一次部分》, 计算单相短路电流的周期分量起始有效值最接近下列哪项数值?

- (A) 3.387kA (B) 1.129kA (C) 1.956kA (D) 1.694kA

答案: [A]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (4-38) ~ 式 (4-42):

$$I_d^I = m I_{d1}^I = 3 I_{*d1}^I I_e = \frac{3}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} I_e = \frac{3}{0.1623 + 0.1623 + 0.12} \times 0.502\text{kA} \approx 3.387\text{kA}$$

分析: I_e 可以通过表 4-1 查得, 也可以通过计算得到。

(4) 该风电场升压站 35kV 侧设置两组 9Mvar 并联电容器装置, 拟各用一回三芯交联聚乙烯绝缘铝芯电缆连接, 电缆的额定电压 $U_0/U = 26/35$, 电缆路径长度约 80m, 同电缆沟内并排敷设, 两电缆敷设中心距等于电缆外径。试按持续允许电流、短路热稳定条件计算后, 选择出下列哪一种电缆截面是正确的?

附下列计算条件, 地区气象温度多年平均值为 25℃, 35kV 侧计算用短路热效应 Q 为 $76.8\text{kA}^2 \cdot \text{s}$, 热稳定系数 C 为 86。

三芯交联聚乙烯绝缘铝芯高压电缆在空气中 (25℃) 长期允许载流量表

电缆导体截面/ mm^2	95	120	150	185
长期允许载流量/A	165	180	200	230

注: 本表引自《电力电缆运行规程》。缆芯工作温度为 80℃, 周围环境温度为 25℃。

- (A) 95 mm^2 (B) 120 mm^2 (C) 150 mm^2 (D) 185 mm^2

答案: [D]

解答过程: 1) 按持续允许电流选择电缆截面。根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 5.1.3 条: “并联电容器装置的总回路和分组回路的电器导体选择时, 回路工作电流应按稳态过电流最大值确定, 过电流倍数应为回路额定电流的 1.3 倍”, 据此可得回路工作电流为

$$I_g = 1.3 \times \frac{Q}{\sqrt{3}U} = 1.3 \times \frac{9 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 35} \text{A} \approx 193\text{A}$$

又根据《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 空气中单层多根并行敷设时电缆载流量的校正系数表 D.0.5, 在 $s=d$ 的情况下, 两根电缆并排敷设的电缆载流量校正系数为 0.9。如选择导线截面为 185 mm^2 , 则实际电缆允许载流量为 $230 \times 0.9\text{A} = 207\text{A} > 193\text{A}$, 满足要求。

表 D.0.5 空气中单层多根并行敷设时电缆载流量的校正系数

并列根数		1	2	3	4	5	6
电缆中心距	$s = d$	1.00	0.90	0.85	0.82	0.81	0.80
	$s = 2d$	1.00	1.00	0.98	0.95	0.93	0.90
	$s = 3d$	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	0.96

注：1. s 为电缆中心间距， d 为电缆外径。
2. 按全部电缆具有相同外径条件制订，当并列敷设的电缆外径不同时， d 值可近似地取电缆外径的平均值。
3. 不适用于交流系统中使用的单芯电力电缆。

2) 按热稳定条件选择电缆截面。根据《电力工程电缆设计规范》（GB 50217—2007）式（E.1.1-1）：

$$S \geq \frac{\sqrt{Q}}{C} = \frac{\sqrt{76.8 \times 10^6}}{86} \text{mm}^2 = 101.9 \text{mm}^2$$

3) 综上所述，满足两种条件的只有 D 答案。

(5) 若该风电场的 110kV 配电装置接地均压网采用镀锌钢材，试求其最小截面为下列哪项数值？（计算假定条件如下，通过接地线的短路电流稳定值， $I_g = 3.85 \text{kA}$ ，短路的等效持续时间为 0.5s）

- (A) 38.89mm² (B) 30.25mm² (C) 44.63mm² (D) 22.69mm²

答案：[A]

解答过程：根据为《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）附录 C。

根据热稳定条件，未考虑腐蚀时，接地线的最小截面应符合下式要求

$$S_g \geq \frac{I_g}{c} \sqrt{t_e} \tag{C1}$$

式中 S_g ——接地线的最小截面，mm²；
 I_g ——流过接地线的短路电流稳定值，A（根据系统 5~10 年发展规划，按系统最大运行方式确定）；
 t_e ——短路的等效持续时间，s；
 c ——接地线材料的热稳定系数，根据材料的种类、性能及最高允许温度和短路前接地线的初始温度确定。

在校验接地线的热稳定时， I_g 、 t_e 及 c 应采用表 C1 所列数值。接地线的初始温度，一般取 40℃。在爆炸危险场所，应按专用规定执行。

表 C1 校验接地线热稳定用的 I_g 、 t_e 和 c 值

系统接地方式	I_g	t_e	c		
			钢	铝	铜
有效接地	单(两)相接地短路电流	见 a) 和 b)	70	120	210
低电阻接地	单(两)相接地短路电流	2s	70	120	210
不接地、消弧线圈接地和高电阻接地	异点两相接地短路电流	2s	70	120	210

由式 (C1):

$$S_g \geq \frac{I_g}{C} \sqrt{t_c} = \frac{3.85 \times 10^3}{70} \sqrt{0.5} \text{ mm}^2 = 38.89 \text{ mm}^2$$

分析: 本题的 C 值可以通过表 C1 得到, 不应该用上一题的 86。

题 3: 某水电厂采用 220kV 电压送出, 厂区设有一座 220kV 开关站, 请解答下列问题。
(2008)

(1) 若该开关站地处海拔 2000m, 请计算 A_2 应取下列哪项数值?

- (A) 2000mm (B) 1900mm (C) 2200mm (D) 2100mm

答案: [C]

解答过程: 根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 表 8.1.1, 220J 系统 A_1 的值为 1800mm, A_2 的值为 2000mm, 再根据该规程的附录 B, 2000m 处 A_1 值修正约为 2000mm, 故 A_2 的值修正为 $[2000 + (2000 - 1800)] \text{ mm} = 2200 \text{ mm}$ 。故选 C。

148

(2) 若该 220kV 开关站场区总平面为 70m × 60m 的矩形面积, 在四个顶角各安装高为 30m 的避雷针, 被保护物高度 14.5m, 为出线门架挂线高度, 请计算对角线的两针间保护范围的一侧最小宽度 b_x 应为下列哪项数值? (按《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》DL/T 620—1997 的计算方法)

- (A) 3.75m (B) 4.96m (C) 2.95m (D) 8.95m

答案: [B]

解答过程: 多只避雷针的联合保护范围示意图如图 6-4 所示。

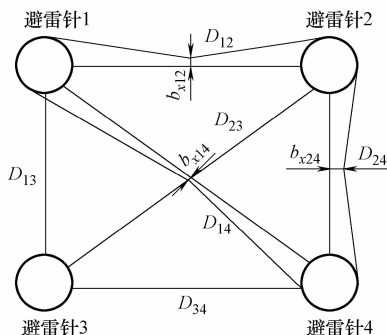


图 6-4 多只避雷针的联合保护范围示意图

1) 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 5.2.1 条及第 5.2.2 条各符号定义知

$$h = 30 \text{ m}; h_x = 14.5 \text{ m}; h_a = h - h_x = (30 - 14.5) \text{ m} = 15.5 \text{ m}; P = 1$$

2) 由于题目要求计算的是对角线的两针间保护范围的一侧最小宽度 b_x , 即计算的应该是避雷针 1、4 保护范围一侧的最小宽度 b_{x14} 。

$$D_{14} = \sqrt{70^2 + 60^2} \text{ m} = 92.2 \text{ m}, h_0 = h - \frac{D_{14}}{7P} = 30 \text{ m} - \frac{92.2}{7} \text{ m} = 16.8 \text{ m}$$

$$\frac{D_{14}}{h_a P} = \frac{92.2}{15.5 \times 1} = 5.95, \frac{h_x}{h} = \frac{14.5}{30} = 0.48$$

查《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 图 4 得

$$\frac{b_{x14}}{h_a P} = 0.32 \Rightarrow b_{x14} = 0.32 \times 15.5 \times 1 \text{ m} = 4.96 \text{ m}$$

故本题选 B 为正确答案。

(3) 若该水电厂设置两台 90MVA 主变, 每台变压器的油量为 50t, 变压器油密度是 0.84t/m^3 , 设计有油水分离措施的总事故储油池时, 其容量应为下列哪项数值? (按《高压配电装置设计技术规程》DL/T 5352—2006 的规定计算)

- (A) 59.52m^3 (B) 11.91m^3 (C) 35.71m^3 (D) 119.09m^3

▶ 答案: [C]

▶ 解答过程: 根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 第 8.5.3 条及条文说明: “当设置有油水分离的总事故储油池时, 其容量宜按最大一个油箱容量的 60% 确定”, 可得储油池的容量为

$$\frac{50}{0.84} \times 60\% \text{ m}^3 = 35.71 \text{ m}^3$$

故本题选 C。

▶ 分析: 本题的题眼在于设有油水分离的总事故储油室。如果没有油水分离措施, 按规程规定, 则应按一台变压器容量的 100% 确定。

(4) 若该开关站所处地区的地震烈度为 9 度, 说明下列关于 220kV 屋外配电装置的论述中哪一项不符合设计规程的要求?

- (A) 220kV 配电装置型式不应采用高型、半高型。
(B) 220kV 配电装置的管型母线宜采用悬挂式结构。
(C) 220kV 配电装置主要设备之间与其他设备及设施间的距离宜适当加大。
(D) 220kV 配电装置的构架和设备支架设计荷载, 不计入风荷载作用效应。

▶ 答案: [D]

▶ 解答过程: 根据《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—1996) 第 5.5.2、6.5.4 条。

5.5.2 当地震烈度为 9 度时, 电气设施的布置应符合下列原则的要求:

一、电压为 110kV 及以上的配电装置型式, 不宜采用高型、半高型和双层屋内配电装置。

二、电压为 110kV 及以上的管型母线配电装置的管型母线, 宜采用悬挂式结构。

三、主要设备之间以及主要设备与其他设备及设施间的距离宜适当增大。

6.5.4 地震作用效应与其他荷载效应组合时, 应计入下列各项作用:

一、恒载。

二、导线、绝缘子串和金具重等设备荷载。

三、正常运行时的最大导线张力。

四、按现行国家标准《建筑抗震设计规范》的规定同时计入风荷载作用效应。

五、对高型或半高型布置的构架, 尚应考虑通道活荷载 1.0kN/m^2 。

根据 5.5.2 条可知 A、B、C 答案正确；根据 6.5.4 条第四款可知 D 答案错误。

分析：本题也可根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 10 章第 680 ~ 683 页相关内容作答。

题 4：请回答 500kV 超高压配电装置型式选择、导线选择、安全净距。（2005）

（1）采用一台半断路器接线的 500kV 户外配电装置型式，按断路器布置方式，通常划分哪一组？

- (A) 三列式、平环式、单列式 (B) 三列式、平环式、双列式
(C) 三列式、单列式、双列式 (D) 平环式、单列式、双列式

答案：[A]

解答过程：解法 1：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 673 页表 10-31 可知 500kV 一台半断路器布置分为三列布置、平环布置以及单列布置三种。

解法 2：根据《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）第 8.3.2 条：“220kV ~ 500kV 电压等级，一台半断路器接线，当采用软母线或管型母线配双柱式、三柱式、双柱伸缩式或单柱隔离开关时，屋外敞开式配电装置应采用中型布置。断路器宜采用三列式、单列式或‘品’字形布置。”

150

表 10-31 FS 变电所 500kV 配电装置方案比较

布置方案 比较项目		断路器三列布置	断路器平环布置	断路器单列布置
占地	横向长度/m	302	222.5	221.5
	纵向长度/m	256	396	426
	占地面积/m ²	77312	88110	94359
布置及结构特点		1. 两组母线布置在两端，中间三个断路器排列成三列； 2. 部分断路器上方没有架空软导线，设备检修较有利； 3. 线路与断路器不对应，分区性差	1. 两组母线相邻布置，中间联络断路器横位布置，形成一个“环”； 2. 所有断路器上方没有架空软导线，设备检修条件最好； 3. 配电装置结构简单，分区明显	1. 两组母线分开布置，利用上层斜拉导线将三个布置在一列的断路器连接成串； 2. 所有断路器上方都有架空软导线，设备检修条件最差； 3. 配电装置结构最复杂

（2）在 500kV 配电装置中各回路载流量大，又要满足电晕及无线电干扰的要求，工程中普遍采用下列哪一组导线？

- (A) 普通 LGJ、扩径空心导线、多分裂导线
(B) 普通 LGJ、扩径空心导线、大直径或组合铝管
(C) 普通 LGJ、多分裂导线、大直径或组合铝管
(D) 扩径空心导线、多分裂导线、大直径或组合铝管

答案：[D]

► 解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 8-3 节第 1 条第 (6) 款：“500kV 配电装置宜采用由空心扩径导线或铝合金绞线组成的分裂导线”；又根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 7.3.2 条：“20kV 及以下回路的正常工作电流在 4000A 及以下时，宜选用矩形导体；在 (4000 ~ 8000) A 时，宜选用槽形导体；在 8000A 以上时，宜选用圆管形导体。

110kV 及以上高压配电装置，当采用硬导体时，宜用铝合金管形导体。

500kV 硬导体可采用单根大直径圆管或多根小直径圆管组成的分裂结构，固定方式可采用支持式或悬吊式”可知，500kV 硬导体可采用单根大直径圆管或多根小直径圆管组成的分裂结构。

(3) 500kV 户外配电装置的安全净距 C 值，由下列哪一组确定？说明理由。

- (A) 由 A_1 值 + 人体举手高 + 20cm (B) 由静电感应场强水平定
(C) 由电晕确定 (D) 由无线电干扰水平确定

► 答案：[B]

► 解答过程：根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 第 8.1.1 条及条文说明 8.1.1 条及表 8.1.1 可知 C 值是保证人举手时，手与带电裸导体之间的净距不小于 A_1 的值， $C = A_1 + 2300\text{mm} + 200\text{mm}$ ，式中 2300mm 是运行人员举手后总高度不超过 2300mm；200mm 指的是屋外配电装置的施工误差，但根据条文说明第 8.1.1 条第 6) 款：为限制 500kV 配电装置静电感应，将 C 值（导体对地面高度）由 6300mm 提高到 7500mm，可使配电装置的静电感应场强水平限制到低于 10kV/m。可知 B 为正确答案。

151

题 5：在某矿区内拟建设一座 66/10kV 变电所，两回 66kV 架空进线，设两台主变压器，型号 S9-6300/66，采用屋内双层布置，主变压器室、10kV 配电室、电容器室、维修间、备件库等均布置在一层，66kV 配电室、控制室布置在二层。请回答下列问题。(供配电 2007)

(1) 该变电所所址的选择，下列表述中哪一项是不符合要求的？并说明理由和正确的做法。

- (A) 靠近负荷中心
(B) 交通运输方便
(C) 周围环境宜无明显污秽，如空气污秽时，所址应设在污染源影响最小处
(D) 所址标高宜在 100 年一遇高水位之上

► 答案：[D]

► 解答过程：《35 ~ 110kV 变电所设计规范》(GB 50059—2011) 第 2.0.1 条。

2.0.1 变电站站址的选择，应符合现行国家标准《工业企业总平面设计规范》GB 50187 的有关规定，并应符合下列要求：

- 1 靠近负荷中心。
- 2 变电站布置应兼顾规划、建设、运行、施工等方面的要求，宜节约用地。
- 3 应与城乡或工矿企业规划相协调，并应便于架空和电缆线路的引入和引出。

4 交通运输应方便。

5 周围环境宜无明显污秽，如空气污秽时，所址宜设在受污源影响最小处。

6 变电站应避免与邻近设施之间的相互影响，应避免火灾、爆炸及其他敏感设施，与爆炸危险性气体区域邻近的变电站站址选择及其设计应符合现行国家标准《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》GB50058 的有关规定。

7 应具有适宜的地质、地形和地貌条件，站址宜避免选在有重要文物或开采后对变电所有影响的矿藏地点，无法避免时，应征得有关部门的同意。

8 站址标高宜在 50 年一遇高水位之上，无法避免时，站区应有可靠的防洪措施或与地区（工业企业）的防洪标准相一致，但仍应高于内涝水位。

9 变电站主体建筑应与周边环境相协调。

(2) 若两台主变压器布置在高压配电装置室外的进线一侧（每台主变压器油重为 5.9t），请判断下列关于主变压器布置的表述哪一项是不正确的？并说明理由。

(A) 每台主变压器应设置能容纳 100% 油量的储油池或 20% 油量的储油池和挡油墙，并应有将油排到安全处所的设施

(B) 两台主变压器之间无防火墙时，其最小防火净距应为 6m

(C) 当屋外油浸变压器之间需要设置防火墙时，防火墙的高度不宜低于变压器储油柜的顶端高度

(D) 当高压配电装置室外墙距主变压器外廓 5m 以内时，在变压器高度上 3m 的水平线以下及外廓两侧各 3m 的外墙范围内，不应有门、窗或通风孔

答案：[A]

解答过程：《3 ~ 110kV 高压配电装置设计规范》（GB 50060—2008）第 5.4.5 ~ 5.4.8 条。

5.4.5 屋外充油电气设备单个油箱的油量在 1000kg 以上。应设置能容纳 100% 油量的贮油池，或 20% 油量的贮油池和挡油墙。

设有容纳 20% 油量的贮油池或挡油墙时，应有将油排到安全处所的设施，且不应引起污染危害。当设置有油水分离的总事故贮油池时，其容量不应小于最大一个油箱的 60% 油量。

贮油池和挡油墙的长、宽尺寸，可按设备外廓尺寸每边相应大 1m 计算。

贮油池的四周，应高出地面 100mm。贮油池内宜铺设厚度不小于 250mm 的卵石层，其卵石直径宜为 50 ~ 80mm。

5.4.6 油重均为 2500kg 以上的屋外油浸变压器之间无防火墙时，其最小防火净距应符合表 5.4.6 的规定。

表 5.4.6 油浸变压器最小防火净距

电压等级(kV)	最小防火净距(m)
35 及以下	5
63	6
110	8

5.4.7 当屋外油浸变压器之间需设置防火墙时，防火墙的高度不宜低于变压器油枕的顶端高度，防火墙的两端应分别大于变压器贮油池的两侧各 0.5m。

5.4.8 当火灾危险类别为丙、丁、戊类的生产建筑物外墙距屋外油浸变压器外廓 5m 以内时，在变压器高度以上 3m 的水平线以下及外廓两侧各加 3m 的外墙范围内，不应有门、窗或通风孔。当建筑物外墙距变压器外廓为 10m 以内时，可在外墙上设防火门，并可在变压器高度以上设非燃烧性的固定窗。

注：3~10kV 变压器油量在 1000kg 以下时，其外廓两侧可减为各加 1.5m。

分析：设置能容纳 100% 油量的储油池时不需要有将油排到安全处所的设施。

(3) 该变电所 66kV 配电室内布置有 11 台开关柜，采用单列布置，其中有 4 台柜为柜后架空进出线。请说明栅状遮栏至带电部分之间最小安全净距，下列哪项数据是正确的？

- (A) 900mm (B) 1050mm (C) 1400mm (D) 1600mm

答案：[C]

解答过程：《3~110kV 高压配电装置设计规范》（GB 50060—2008）表 5.1.1：“屋外配电装置的安全净距 66kV 时栅状遮栏至带电部分之间最小安全净距为 1400mm。”

表 5.1.1 屋外配电装置的安全净距 mm

符号	适应范围	额定电压 (kV)					
		3~10	15~20	35	66	110J	110
A ₁	带电部分至接地部分之间	200	300	400	650	900	1000
	网状遮栏向上延伸线距地 25m 处与遮栏上方带电部分之间						
A ₂	不同相的带电部分之间	200	300	400	650	1000	1100
	断路器和隔离开关的断口两侧引线带电部分之间						
B ₁	设备运输时,其外廓至无遮栏带电部分之间	950	1050	1150	1400	1650	1750
	交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间						
	栅状遮栏至绝缘体和带电部分之间						
B ₂	网状遮栏至带电部分之间	300	400	500	750	1000	1100
C	无遮栏裸导体至地面之间	2700	2800	2900	3100	3400	3500
	无遮栏裸导体至建筑物、构筑物顶部之间						
D	平行的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间	2200	2300	2400	2600	2900	3000
	带电部分与建筑物、构筑物的边沿部分之间						

注：① 110J 系指中性点有效接地电网。
② 海拔超过 1000m 时，A 值应进行修正。
③ 本表所列各值不适用于制造厂的产品设计。

题 6: 图 6-5 所示为 110kV 配电装置变压器间隔断面图（局部），已知 110kV 系统为中性点有效接地系统，变压器为油浸式，请回答下列问题。（供配电 2008）

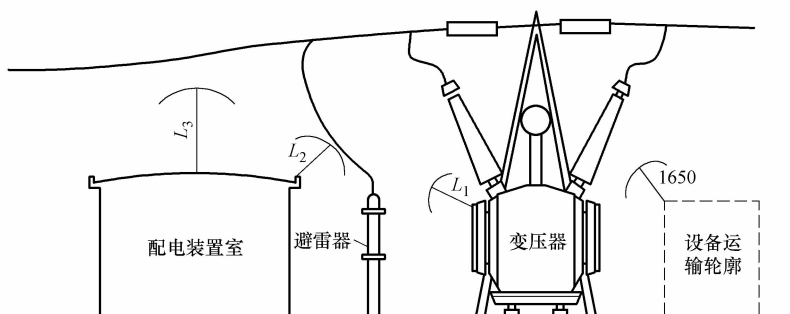


图 6-5 110kV 配电装置变压器间隔断面图

154

(1) 分析说明变压器散热器的外轮廓与避雷器之间的安全净距： L_1 不应小于下列哪项数值？

- (A) 900mm (B) 1000mm (C) 1650mm (D) 1750mm

答案：[C]

解答过程：根据《3~110kV 高压配电装置设计规范》(GB 50060—2008) 表 5.1.1 (见本章案例分析题题 5 的第 (3) 题)。

分析：本题应该把变压器看做设备运输， L_1 应为其外廓至无遮拦带电部分之间的距离。

(2) 分析说明避雷器引线上与配电装置室挑檐之间的安全净距 L_2 不应小于下列哪项数值？

- (A) 1000mm (B) 1650mm (C) 2900mm (D) 3400mm

答案：[C]

解答过程：《3~110kV 高压配电装置设计规范》(GB 50060—2008) 表 5.1.1 (见本章案例分析题题 5 的第 (3) 题)。

(3) 分析说明配电装置室顶部与跨越配电室装置室的导线的安全净距 L_3 不应小于下列哪个数值？

- (A) 1000mm (B) 1650mm (C) 2900mm (D) 3400mm

答案：[D]

解答过程：《3~110kV 高压配电装置设计规范》(GB 50060—2008) 表 5.1.1 (见本章案例分析题题 5 的第 (3) 题)。

(4) 在配电装置室不采取防火措施的情况下，变压器与配电装置室之间的防火间距应为下列哪个数值？

- (A) 5m (B) 10m (C) 15m (D) 20m

答案：[B]

解答过程：《35~110kV 变电所设计规范》(GB 50059—2008) 附录九、十。

(5) 若变电所有两台变压器，单台变压器的油量均超过 1000kg，当同时设置贮油坑及总事故油池（设置油水分离），它们的容量应是下列哪些数据？

(A) 贮油坑的容量不小于单台变压器油量的 10%，总事故油池的容量不小于最大单台变压器油量的 60%

(B) 贮油坑的容量不小于单台变压器油量的 20%，总事故油池的容量不小于最大单台变压器油量的 50%

(C) 贮油坑的容量不小于单台变压器油量的 15%，总事故油池的容量不小于最大单台变压器油量的 50%

(D) 贮油坑的容量不小于单台变压器油量的 20%，总事故油池的容量不小于最大单台变压器油量的 60%

答案：[D]

解答过程：《3~110kV 高压配电装置设计规范》（GB 50060—2008）第 5.5.3 条。

5.5.3 屋外单台电气设备的油量在 1000kg 以上时，应设置贮油设施或挡油措施。挡油设施的容积应按容纳 20% 油量设计，并应有将事故油排至安全处的设施；当不能满足上述要求时，应设置能容纳 100% 油量的贮油设施。

当不能满足上述要求时，应设置能容纳 100% 的油量的贮油或挡油设施。贮油和挡油设施应大于设备外廓每边各 1000mm，四周应高出地面 100mm，贮油设施内应铺设卵石层，卵石层厚度不应小于 250mm，卵石直径为 50~80mm。

当设置有油水分离措施的总事故贮油池时，贮油池容量宜按最大一个油箱的 60% 确定。

分析：根据《35~110kV 变电所设计规范》（GB 50059—1992）第 4.6.5 条：“主变压器等充油电气设备，当单个油箱的油量在 1000kg 以上时，应同时设置贮油坑及总事故油池，其容量分别不小于单台设备油量的 20% 及最大单台设备油量的 60%。”但该规范现在已经废止，而替代规范《35kV~110kV 变电站设计规范》（GB 50059—2011）并没有相应依据。

题 7：图 6-6 所示为中性点不接地的 110kV 屋外配电装置，装在海拔高度不超过 1000m 处，请按下列要求，分别回答下列问题。

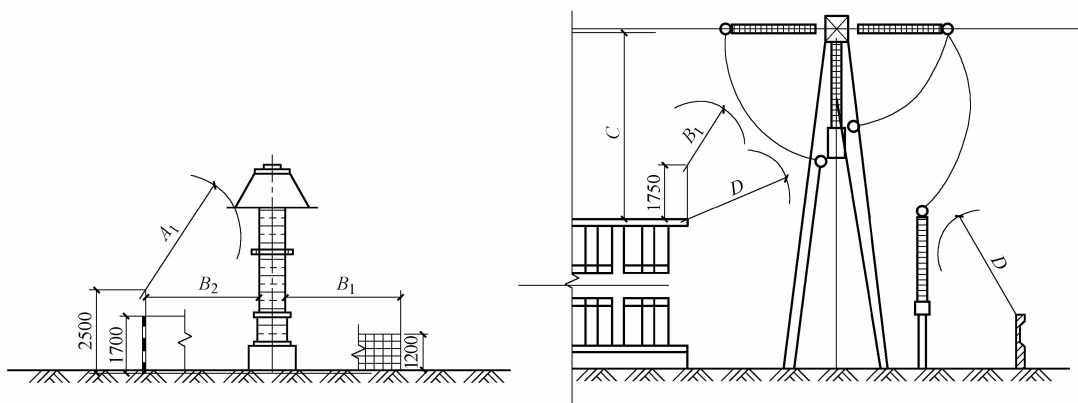


图 6-6 中性点不接地的 110kV 屋外配电装置

(1) 图中 B_2 的下列数值, 符合规范要求的是 ()。

- (A) 1000mm (B) 1100mm (C) 750mm (D) 780mm

答案: [B]

解答过程: 根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 表 8.1.1 可知 B_2 为网状遮拦至带电部分之间的距离, 对 110kV 不接地系统取 1100mm。

(2) 110kV 不接地系统屋外配电装置的安全净距的各项值 (A_1, B_1, B_2, C, D) 较 110kV 中性点有效接地系统屋外配电装置安全净距各相应值 ()。

- (A) 大于 (B) 等于 (C) 小于 (D) 大 100mm

答案: [D]

解答过程: 根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 表 8.1.1。

(3) 由于布置上的原因, 变电所独立避雷针的接地装置与变电所主接地网之间地中实际距离为 2m, 避雷针的冲击接地电阻为 10Ω , 采用沥青混凝土作为绝缘隔离层, 则该隔离层的厚度为 ()。

- (A) 0.5m (B) 0.4m
(C) 0.3m (D) 0.25m

答案: [A]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (16-44) 有

$$b = 0.15R_{ch} - 0.5S$$

$$= (0.15 \times 10 - 0.5 \times 2) \text{m} = 0.5 \text{m}$$

分析: 独立避雷针及其接地装置与道路或建筑物的出、入口等距离应大于 3m。在高土壤电阻率地区或布置上有困难, 而地中距离不能满足至少大于 3m 的要求时, 可以采用沥青或沥青混凝土作为绝缘隔离层。隔离层的厚度 b 由式 (16-44) 确定。

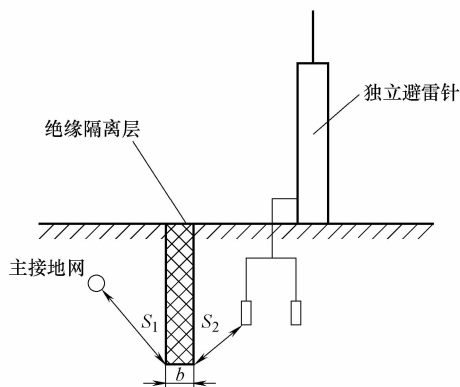


图 6-7 布置图

(4) 如图 6-7 所示, 由于布置上的原因, 变电所独立避雷针接地装置与其主接地网之间的距离不能满足要求, 拟采用沥青混凝土作绝缘隔离层, 其厚度为 0.2m (图 6-7 中的 b)。隔离层边缘至主接地网接地体的最小距离 $S_1 = 1.8\text{m}$, 则隔离层至避雷针接地体的最小距离应不小于 ()。

- (A) 0.5m (B) 1.0m (C) 0.7m (D) 0.8m

答案: [B]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (16-45) 有

$$S_1 + S_2 + b \geq S_d \Rightarrow S_2 \geq S_d - S_1 - b = 3\text{m} - 1.8\text{m} - 0.2\text{m} = 1\text{m}$$

分析：独立避雷针的接地装置与接地网的地中距离不应小于 3m。

(5) 已知安装在海拔高度超过 1000m 的 63kV 配电装置，修正后的 A_1 值为 800mm，则安全净距 B_1 为 ()。

- (A) 2800mm (B) 900mm (C) 3300mm (D) 1550mm

答案：[D]

解答过程：根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 表 8.1.1 及附录 B，修正前 A_1 值为 650mm，修正后的 A_1 值为 800mm，增加 150mm， B_1 修正前为 1400mm，则修正后为 $(1400 + 150) \text{ mm} = 1550 \text{ mm}$ 。

题 8：图 6-8 所示为 110kV 屋内配电装置，装在海拔高度为 800m 处，110kV 供电系统中性点有效接地。请按电气安全净距的要求，分别回答下面的问题。(以 mm 为单位)

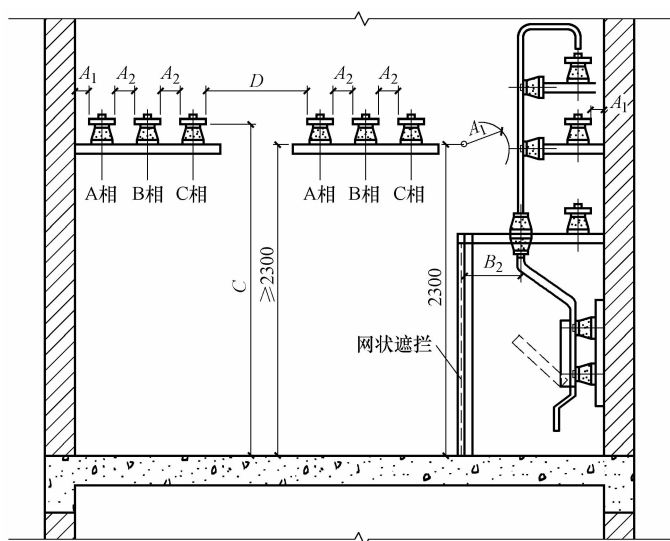


图 6-8 110kV 屋内配电装置

157

(1) 图中标示的 A_1 下列哪个数值是符合规范要求的？

- (A) 300mm (B) 500mm (C) 850mm (D) 750mm

答案：[C]

解答过程：根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 图 8.1.3-1 和表 8.1.3， A_1 为带电部分至接地部分之间的距离，取 850mm。

(2) 图中标示的 A_2 下列哪项数值是符合规范要求的？

- (A) 800mm (B) 500mm (C) 900mm (D) 300mm

答案：[C]

解答过程：根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 图 8.1.3-1 和表 8.1.3， A_2 为不同相带电部分之间的距离，取 900mm。

(3) 图中标示的 B_2 下列哪项数值是符合规范要求的?

- (A) 950mm (B) 650mm (C) 1050mm (D) 400mm

答案: [A]

解答过程: 根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 图 8.1.3-1 和表 8.1.3, B_2 为网状遮栏至带电部分之间的距离, 取 950mm。

表 8.1.3 屋内配电装置的安全净距离

mm

符号	适用范围	图号	额 定 电 压 （kV）										
			0.4	1 ~ 3	6	10	15	20	35	60	110J	110	220J
A_1	带电部分至接地部分之间	8.1.3-1	20	75	100	125	150	180	300	550	850	950	1800
	网状和板状遮栏向上延伸线距地2.3m处与遮栏上方带电部分之间												
A_2	不同相的带电部分之间	8.1.3-1	20	75	100	125	150	180	300	550	900	1000	2000
	断路器和隔离开关的断口两侧带电部分之间												
B_1	栅状遮栏至带电部分之间	8.1.3-1 8.1.3-2	800	825	850	875	900	930	1050	1300	1600	1700	2550
	交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间												
B_2	网状遮栏至带电部分之间	8.1.3-2	100	175	200	225	250	280	400	650	950	1050	1900
C	无遮栏裸导体至地(楼)面之间	8.1.3-1	2300	2375	2400	2425	2450	2480	2600	2850	3150	3250	4100
D	平行的不同时停电检修的无遮栏裸导体之间	8.1.3-1	1875	1875	1900	1925	1950	1980	2100	2350	2650	2750	3600
E	通向室外的出线套管至室外通道的路面	8.1.3-2	3650	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4500	5000	5000	5500

注: 1. 110J、220J 系指中性点直接接地电网;
2. 海拔超过 1000m 时, A 值应进行修正(参见附录 B);
3. 通向屋外的配电装置的出线套管至屋外地面的距离, 不应小于表 8.1.1 中所列屋外部分之 C 值。
1) 当为板状遮栏时, 其 B_1 值可取 $A_1 + 30$ mm。

(4) 当将图中的网状遮栏改为板状遮栏时, B_2 值应为 ()。

- (A) 580mm (B) 330mm (C) 210mm (D) 880mm

答案: [D]

解答过程: 根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 图 8.1.3-1 和表 8.1.3 注, 当为板状遮栏时, 其 B_2 的值可取 $(A_1 + 30)$, 即 $(850 + 30)$ mm = 880mm。

(5) 当将 110kV 供电系统中性点有效接地改为不接地时, 则 A_1 值应为 ()。

- (A) 750mm (B) 950mm (C) 850mm (D) 800mm

答案: [B]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 10-4。

表 10-4 屋内配电装置的安全净距离

符号	适用范围	图号	额定电压 (kV)										
			0.4	1~3	6	10	15	20	35	60	110J ^①	110	220J ^①
A_1 ^④	1. 带电部分至接地部分之间 2. 网状和板状遮栏向上延伸线距地 2.3m 处与遮栏上方带电部分之间	10-4	20	75	100	125	150	180	300	550	850	950	1800
A_2	1. 不同相的带电部分之间 2. 断路器和隔离开关的断口两侧带电部分之间	10-4	20	75	100	125	150	180	300	550	900	1000	2000
B_1	1. 栅状遮栏至带电部分之间 2. 交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间	10-4 10-5	800	825	850	875	900	930	1050	1300	1600	1700	2550
B_2	网状遮栏至带电部分之间 ^②	10-4 10-5	100	175	200	225	250	280	400	650	950	1050	1900
C	无遮栏裸导体至地(楼)面之间	10-4	2300	2375	2400	2425	2450	2480	2600	2850	3150	3250	4100
D	平行的不同时停电检修的无遮栏裸导体之间	10-4	1875	1875	1900	1925	1950	1980	2100	2350	2650	2750	3600
E	通向室外的出线套管至室外通道的路面 ^③	10-5	3650	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4500	5000	5000	5500

注：当 220J 采用降低绝缘水平的设备时，其相应的 A 值可采用表 10-3 所列数值。
① 110J、220J 系指中性点直接接地电网；
② 当为板状遮栏时，其 B_1 值可取 $A_1 + 30\text{mm}$ ；
③ 当出线套管外侧为屋外配电装置时，其至屋外地面的距离，不应小于表 10-1 中所列屋外部分之 C 值；
④ 海拔超过 1000m 时，A 值应按图 10-11 修正。

分析：《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）表 8.1.3 并没有 110kV 不接地系统的安全净距的规定。

题 9：某屋外 220kV 变电站，地处海拔 1000m 以下，其高压配电装置的变压器进线间隔断面如图 6-9 所示。（2013）

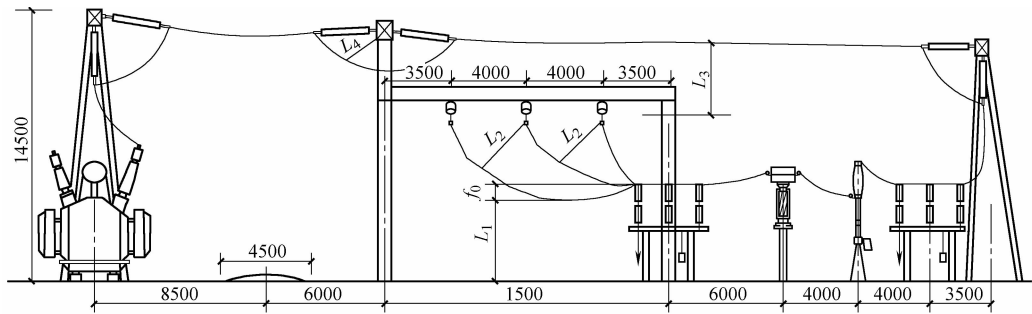


图 6-9

(1) 上图为变电站高压配电装置断面，请判断下列对安全距离的表述中，哪项不满足规程要求？并说明判断依据的有关条文。

- (A) 母线至隔离开关引下线对地面的净距 $L_1 \geq 4300\text{mm}$
- (B) 母线至隔离开关引下线对邻相母线的净距 $L_2 \geq 2000\text{mm}$
- (C) 进线跨带电作业时，上跨导线对主母线的垂直距离 $L_3 \geq 2550\text{mm}$
- (D) 跳线弧垂 $L_4 \geq 1700\text{mm}$

答案：[D]

依据：根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 表 8.1.1 及图 8.1.1-1 ~ 8.1.1-3。图中的 L_1 为 C 值，即无遮拦裸导体至地面之间的距离，对 220J 系统取 4300mm。 L_2 为 A_2 值，即不同相带电部分之间的距离，对 220J 系统取 2000mm。图中的 L_3 相当于上人母线检修时出线架高度的校验，不得小于 B_1 值，对 220J 系统取 2550mm。又根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》P700 的内容和 P701 附图 10-3 可得，跳线在无风时候的弧垂不得小于最小电气距离 A_1 值，对 220J 系统取 1800mm。

分析：配电装置的最小安全距离又分为屋外配电装置和屋内配电装置，两者是不同的。在答题时，规程和手册的侧重点有所不同，有时需要将《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352-2006) 和《电力工程电气设计手册 电气一次部分》结合起来才能得到正确的答案。

(2) 该变电站母线高度为 10.5m，母线隔离开关支架高度 2.5m，母线隔离开关本体（接线端子距支架顶）高度 2.8m。要满足在不同气象条件下的各种状态下，母线引下线与邻相母线之间的净距均不小于 A_2 值，试计算确定母线隔离开关端子以下的引下线弧垂 f_0 （上图中所示）不应大于下列哪一数值？

- (A) 1.8m
- (B) 1.5m
- (C) 1.2m
- (D) 1m

答案：[D]

依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式子附 10-46，母线引下线最低点离地距离不小于 C 值，即： $H_z + H_g - f_0 \geq C$ ，其中 H_z 为母线隔离支架高度，取 2.5m， H_g 为开关本体（接线端子距支架顶）高度，取 2.8m。对 220J 系统， C 取 4300mm（见上一小题），代入公式可得：

$$f_0 \leq H_z + H_g - C = (2500 + 2800 - 4300)\text{mm} = 1000\text{mm} = 1\text{m}$$

(3) 假设该变电站有一回 35kV 电缆负荷回路，采用交流单芯电力电缆，金属层接地方式按一端接地设计。电缆导体额定电流 300A，电缆计算长度 1km，三根单芯电缆直埋敷设且水平排列，相间距离 20cm，电缆金属层半径 3.2cm。试计算这段电缆线路中相间（B 相）正常感应电压是多少？

- (A) 47.58V
- (B) 42.6V
- (C) 34.5V
- (D) 13.05V

答案：[C]

依据：根据《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 式子 F.0.1 有：

$$\begin{aligned} E_s &= L \times E_{s0} = L \times I \times X_0 = L \times I \times \left(2\omega \ln \frac{S}{r} \right) \times 10^{-4} \\ &= \left(1 \times 300 \times 2 \times 2 \times \pi \times 50 \times \ln \frac{0.20}{0.032} \times 10^{-4} \right) \text{V} = 34.5\text{V} \end{aligned}$$

第七章 过电压保护和绝缘配合

一、大纲要求 ★★★

- 1) 熟悉电力系统过电压种类和过电压水平;
- 2) 掌握雷电过电压的特点及相应的限制和保护设计;
- 3) 掌握暂时过电压的特点及相应的限制和保护设计;
- 4) 掌握操作过电压的特点及相应的限制和保护设计;
- 5) 了解输电线路、配电装置及电气设备的绝缘配合方法及绝缘水平的确定。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 30 分,其中专业知识占 10 分左右,案例占 20 分左右。考点集中,考试题目有一定难度。答题依据主要有《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第十五章、《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)、《水力发电厂过电压保护和绝缘配合设计技术导则》(DL/T 5090—1999)等。重点考查电力系统过电压的种类和过电压水平、各种过电压的限制措施、避雷针(线)的保护范围、输电线路、配电装置及电气设备的绝缘配合方法等。

161

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

(1) 在超高压线路的并联电抗器上装设中性点小电抗的作用是下列哪条? (2012)

- (A) 限制合闸过电压 (B) 限制操作过电压
(C) 限制工频谐振过电压和潜供电流 (D) 限制雷电过电压

答案: [C]

依据:《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 536 页。

分析:根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)第 14.4.1 条:“应根据电力系统的情况按加速潜供电弧熄灭或抑制谐振过电压的要求选择小电抗器。”本题还需要理解潜供电流产生的原因和抑制措施。

(2) 变电所内,用于 110kV 有效接地系统的母线型无间隙金属氧化物避雷器的持续运行电压和额定电压应不低于下列哪组数据? (2012)

- (A) 57.6kV, 71.8kV (B) 69.6kV, 90.8kV
(C) 72.7kV, 94.5kV (D) 63.5kV, 82.5kV

答案: [C]



依据：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）表 3，可得

110kV 有效接地系统的无间隙金属氧化物避雷器持续运行电压相地为 $\frac{U_m}{\sqrt{3}} = \frac{126}{\sqrt{3}} \text{ kV} = 72.7 \text{ kV}$ ，

额定电压为 $0.75 U_m = 0.75 \times 126 \text{ kV} = 94.5 \text{ kV}$ 。

表 3 无间隙金属氧化物避雷器持续运行电压和额定电压

系统接地方式		持续运行电压 kV		额定电压 kV	
		相地	中性点	相地	中性点
有效接地	110kV	$U_m/\sqrt{3}$	$0.45 U_m$	$0.75 U_m$	$0.57 U_m$
	220kV	$U_m/\sqrt{3}$	$0.13 U_m (0.45 U_m)$	$0.75 U_m$	$0.17 U_m$ $(0.57 U_m)$
	330kV、 500kV	$\frac{U_m}{\sqrt{3}} (0.59 U_m)$	$0.13 U_m$	$0.75 U_m (0.8 U_m)$	$0.17 U_m$
不接地	3 ~ 20kV	$1.1 U_m; U_{m \cdot g}$	$0.64 U_m; U_{m \cdot g}/\sqrt{3}$	$1.38 U_m; 1.25 U_{m \cdot g}$	$0.8 U_m; 0.72 U_{m \cdot g}$
	35kV、 66kV	U_m	$U_m/\sqrt{3}$	$1.25 U_m$	$0.72 U_m$
消弧线圈		$U_m; U_{m \cdot g}$	$U_m/\sqrt{3};$ $U_{m \cdot g}/\sqrt{3}$	$1.25 U_m; 1.25 U_{m \cdot g}$	$0.72 U_m; 0.72 U_{m \cdot g}$
低电阻		$0.8 U_m$	—	U_m	—
高电阻		$1.1 U_m; U_{m \cdot g}$	$1.1 U_m/\sqrt{3};$ $U_{m \cdot g}/\sqrt{3}$	$1.38 U_m; 1.25 U_{m \cdot g}$	$0.8 U_m; 0.72 U_{m \cdot g}$

注：1. 220kV 括号外、内数据分别对应变压器中性点经接地电抗器接地和不接地。
2. 330kV、500kV 括号外、内数据分别与工频过电压 1.3p. u. 和 1.4p. u. 对应。
3. 220kV 变压器中性点经接地电抗器接地和 330kV、500kV 变压器或高压并联电抗器中性点经接地电抗器接地时，接地电抗器的电抗与变压器或高压并联电抗器的零序电抗之比小于等于 1/3。
4. 110kV、220kV 变压器中性点不接地且绝缘水平低于表 21 所列数值时，避雷器的参数需另行研究确定。



分析：母线型无间隙避雷器显然不是变压器中性点避雷器。

(3) 在 220kV 和 35kV 电力系统中，工频过电压水平一般分别不超过下列哪组数值？（2011）

- (A) 252kV、40.5kV (B) 189kV、40.5kV
(C) 328kV、23.38kV (D) 189kV、23.38kV



答案：[B]



依据：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 4.1.1 条

b) 款：“对范围 I 中的 110kV 及 220kV 系统，工频过电压一般不超过 1.3p. u.。对 35kV ~ 66kV 系统，工频过电压不超过 $\sqrt{3}$ p. u.”。又根据第 3.2.3 条：“工频过电压的标么值取 1.0p. u. = $U_m/\sqrt{3}$ ”。故有 220kV 和 35kV 系统的工频过电压分别为

$$1.3p.u. = \frac{1.3U_m}{\sqrt{3}} = \frac{1.3 \times 252}{\sqrt{3}} \text{ kV} = 189 \text{ kV}$$

$$\sqrt{3}p.u. = \sqrt{3} \times \frac{U_m}{\sqrt{3}} = U_m = 40.5 \text{ kV}$$

(4) 某 220kV 电压等级的大跨越档线路，档距为 1000m，根据雷击档距中央避雷线防止反击的条件，档距中央导线与避雷线间的距离应大于下列何值？(2011)

- (A) 7.5m (B) 9.5m (C) 10.0m (D) 11.0m

▶ 答案：[D]

▶ 依据：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 式 (14) 有

$$S_1 = 0.012l + 1 = (0.012 \times 1000 + 1) \text{ m} = 13 \text{ m}$$

显然按式 (14) 算出来的档距较大，大于表 10 的数值。根据第 6.1.6 条规定：“当档距长度较大，按式 (14) 计算出的 S_1 大于表 10 的数值时，可按后者要求。”根据表 10，防止反击要求的大跨越档导线与避雷线间的距离对 220kV 系统取 11m。

(5) 某 10kV 变电所，10kV 母线上接有一台变压器，3 回架空出线，出线侧均装设避雷器，请问母线上是否需要装设避雷器，避雷器距变压器的距离不宜大于何值？(2011)

- (A) 需要装设避雷器，且避雷器距变压器的电气距离不宜大于 20m
(B) 需要装设避雷器，且避雷器距变压器的电气距离不宜大于 25m
(C) 需要装设避雷器，且避雷器距变压器的电气距离不宜大于 30m
(D) 不需装设避雷器，出线侧的避雷器可以保护母线设备及变压器

▶ 答案：[B]

▶ 依据：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 7.3.9 条。

7.3.9 变电所的 3kV~10kV 配电装置 (包括电力变压器)，应在每组母线和架空进线上装设阀式避雷器 (分别采用电站和配电阀式避雷器)，并应采用图 13 所示的保护接线。母线上阀式避雷器与主变压器的电气距离不宜大于表 13 所列数值。

架空进线全部在厂区内，且受到其地建筑物屏蔽时，可只在母线上装设阀式避雷器。

有电缆段的架空线路，阀式避雷器应装设在电缆头附近，其接地端应和电缆金属外皮相连。如各架空进线均有电缆段，则阀式避雷器与主变压器的最大电气距离不受限制。

阀式避雷器应以最短的接地线与变电所、配电所的主接地网连接 (包括通过电缆金属外皮连接)。阀式避雷器附近应装设集中接地装置。

3kV~10kV 配电所，当无所用变压器时，可仅在每路架空进线上装设阀式避雷器。

注：配电所指所内仅有起开闭和分配电能作用的配电装置，而母线上无主变压器。

表 13 阀式避雷器至 3~10kV 主变压器的最大电气距离

雷季经常运行的进线路数	1	2	3	≥4
最大电气距离/m	15	20	25	30

(6) 在发电厂、变电所中，对 220kV 有效接地系统，当选择带串联间隙金属氧化物避雷器时，其额定电压应选为（ ）。(2008)

- (A) 181.5kV (B) 189.0kV (C) 193.6kV (D) 201.6kV

答案：[D]

依据：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 5.3.3 条。

5.3.3 有串联间隙金属氧化物避雷器和碳化硅阀式避雷器的额定电压，在一般情况下应符合下列要求：

- a) 110kV 及 220kV 有效接地系统不低于 $0.8U_m$ 。
b) 3kV ~ 10kV 和 35kV、66kV 系统分别不低于 $1.1U_m$ 和 U_m ；3kV 及以上具有发电机的系统不低于 $1.1U_{m.g}$ 。

注： $U_{m.g}$ 为发电机最高运行电压。

- c) 中性点避雷器的额定电压，对 3kV ~ 20kV 和 35kV、66kV 系统，分别不低于 $0.64U_m$ 和 $0.58U_m$ ；对 3kV ~ 20kV 发电机，不低于 $0.64U_{m.g}$ 。

根据 a) 款可得带串联间隙的金属氧化物避雷器 110kV 及 220kV 有效接地额定电压系统不低于 $0.8U_m = 0.8 \times 252kV = 201.6kV$ 。

分析：系统最高电压 U_m 可以通过《标准电压》(GB/T 156—2007) 表 4 查得。

表 4 标称电压 35kV 以上至 220kV 的交流系统及相关设备的标准电压

kV	
设备最高电压	系统标称电压
72.5	66
126(126)	110
252(245)	220

注：1. 表中数值为线电压。

2. 圆括号中的数值为用户有要求时使用。

(7) 在发电厂、变电站中，单支避雷针高度为 20m，被保护物的高度为 12m，则保护的半径为（ ）。(2008)

- (A) 6m (B) 7.38m (C) 8m (D) 9.84m

答案：[C]

依据：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 5.2.1 条 b) 款。

5.2.1 单支避雷针的保护范围

b) 在被保护物高度 h_x 水平面上的保护半径应按下列方法确定：

1) 当 $h_x \geq 0.5h$ 时

$$r_x = (h - h_x)P = h_a P \quad (5)$$

式中 r_x ——避雷针在 h_x 水平面上的保护半径, m;

h_x ——被保护物的高度, m;

h_a ——避雷针的有效高度, m。

2) 当 $h_x < 0.5h$ 时

$$r_x = (1.5h - 2h_x)P \quad (6)$$

根据式 (5) 有

$$r_x = (h - h_x)P = (20 - 12) \times 1\text{m} = 8\text{m}。$$

► 分析: 1) 考查的是避雷针在被保护物高度上的保护半径。2) P 为高度影响系数, 取 1。

(8) 35kV 中性点不接地系统中, 为防止电压互感器过饱和而产生铁磁谐振过电压, 下列哪项措施是不当的? (2008)

- (A) 选用铁磁特性饱和点较高的电磁式电压互感器
- (B) 减少同一系统中电压互感器中性点的接地数量
- (C) 装设消谐装置
- (D) 装设氧化锌避雷器

► 答案: [D]

► 依据: 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 4.1.5 条第 d 款。

d) 3kV ~ 66kV 不接地系统或消弧线圈接地系统偶然脱离消弧线圈的部分, 当连接有中性点接地的电磁式电压互感器的空载母线 (其上带或不带空载短线路), 因合闸充电或在运行时接地故障消除等原因的激发, 使电压互感器过饱和则可能产生铁磁谐振过电压。为限制这类过电压, 可选取下列措施:

1) 选用励磁特性饱和点较高的电磁式电压互感器。

2) 减少同一系统中电压互感器中性点接地的数量, 除电源侧电压互感器高压绕组中性点接地外, 其它电压互感器中性点尽可能不接地。

3) 个别情况下, 在 10kV 及以下的母线上装设中性点接地的星形接线电容器组或用一段电缆代替架空线路以减少 X_{C0} , 使 $X_{C0} < 0.01X_m$ 。

注: X_m 为电压互感器在线电压作用下单相绕组的励磁电抗。

4) 在互感器的开口三角形绕组装设 $R_{\Delta} \leq 0.4 (X_m / K_{13}^2)$ 的电阻 (K_{13} 为互感器一次绕组与开口三角形绕组的变比) 或装设其它专门消除此类铁磁谐振的装置。

5) 10kV 及以下互感器高压绕组中性点经 $R_{p.n} \geq 0.06X_m$ (容量大于 600W) 的电阻接地。

(9) 对于非自动恢复绝缘介质, 在绝缘配合时, 采用下列哪种方法? (2008)

- (A) 惯用法
- (B) 统计法
- (C) 简化统计法
- (D) 滚球法

答案：[A]

依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 895 页绝缘配合方法。

分析：1) 惯用法是一种传统的方法，适用于非自恢复绝缘，是我国目前确定电气设备绝缘水平的主要方法。它是按作用在绝缘上的最大过电压和最小绝缘强度的概念进行绝缘配合。2) 统计法把过电压和绝缘强度都看做随机变量，并试图对其故障进行定量。目前仅在确定超高压输电线路的绝缘水平时采用统计法。半统计法仅把绝缘强度作为随机变量，确认绝缘放电电压的效应曲线为正态分布。目前，对超高压配电装置的自恢复绝缘采用半统计法。3) 简化统计法假设①过电压遵从正态分布；②单个间隙上所加电压与其他并联间隙上所加电压之间不相关，是 IEC 推荐的用于自恢复绝缘的计算方法。4) 滚球法是一种计算接闪器保护范围的方法。它的计算原理为以某一规定半径的球体，在装有接闪器的建筑物上滚过，滚球体由于受建筑物上所安装的接闪器的阻挡而无法触及某些范围，把这些范围认为是接闪器的保护范围。由此可知滚球法与绝缘配合无关。

(10) 在变电所中，110kV 及以上户外配电装置，一般装设架构避雷针，但在下列哪种地区宜设独立避雷针？(2013)

- (A) 土壤电阻率小于 $1000\Omega \cdot m$ 的地区
- (B) 土壤电阻率大于 $350\Omega \cdot m$ 的地区
- (C) 土壤电阻率大于 $500\Omega \cdot m$ 的地区
- (D) 土壤电阻率大于 $1000\Omega \cdot m$ 的地区

答案：[D]

依据：《交流电气装置的过电压保护与绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 7.1.7 条。

7.1.7 110kV 及以上的配电装置，一般将避雷针装在配电装置的架构或屋顶上，但在土壤电阻率大于 $1000\Omega \cdot m$ 的地区，宜装设独立避雷针。否则，应经过验算，采取降低接地电阻或加强绝缘等措施。

(11) 某变电所的 220kV 户外配电装置出线门型架构高为 14m，边相导线距架构柱中心 2.5m。出线门型架构旁有一独立避雷针，若独立避雷针的冲击接地电阻为 20Ω ，则该独立避雷针距出线门型架构间的空气距离至少应大于下列何值？(2013)

- (A) 7.9m
- (B) 6m
- (C) 5.4m
- (D) 2.9m

答案：[C]

依据：《交流电气装置的过电压保护与绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 7.1.11 条第 a 款。

7.1.11 独立避雷针、避雷线与配电装置带电部分间的空气距离以及独立避雷针、避雷线的接地装置与接地网间的地中距离。

a) 独立避雷针与配电装置带电部分、发电厂和变电所电气设备接地部分、架构接地部分之间的空气中距离，应符合下式的要求：

$$S_a \geq 0.2R_i + 0.1h \quad (15)$$

式中 S_a ——空气中距离, m;
 R_i ——避雷针的冲击接地电阻, Ω ;
 h ——避雷针校验点的高度, m。

把已知条件代入公式 (15) 可得:

$$S_a \geq 0.2R_i + 0.1h = (0.2 \times 20 + 0.1 \times 14) \text{ m} = 5.4 \text{ m}。$$

(12) 某 220kV 配电装置, 雷电过电压要求的相对地最小安全距离为 2m, 请问, 雷电过电压要求的相间最小安全距离应为下列哪项数值? (2013)

- (A) 1.8m (B) 2m (C) 2.2m (D) 2.4m

▶ 答案: [C]

▶ 依据:《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 10.3.3 条“变电所相间空气间隙”第 c 款“变电所的雷电过电压相间空气间隙可取相应对地间隙的 1.1 倍”。

2. 多项选择题

(1) 在电力系统运行中, 下列哪几种电压属于设备绝缘的电压? (2012)

- (A) 工频电压 (B) 跨步电压 (C) 操作过电压 (D) 暂时过电压

▶ 答案: [A、C、D]

▶ 依据:《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 3.2.1 条。

3.2.1 系统运行时出现在设备绝缘上的电压有:

- 1) 正常运行时的工频电压;
- 2) 暂时过电压 (工频过电压、谐振过电压);
- 3) 操作过电压;
- 4) 雷电过电压。

▶ 分析: 跨步电压数值不大, 不属于设备绝缘上的电压。

(2) 变电所中电气设备与工频电压的绝缘配合原则是哪些? (2012)

- (A) 工频运行电压下瓷外绝缘的爬电距离应符合相应环境污秽等级的爬电比距要求
 (B) 电气设备应能承受一定幅值和时间的工频过电压
 (C) 电气设备与工频过电压的绝缘配合系数取 1.15
 (D) 电气设备应能承受一定幅值和时间的谐振过电压

▶ 答案: [A、B、D]

▶ 依据:《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 10.1.2 条。

10.1.2 工频运行电压和暂时过电压下的绝缘配合:

a) 工频运行电压下电气装置瓷外绝缘的爬电距离应符合相应环境污秽分级条件下的爬电比距要求。

b) 变电所电气设备应能承受一定幅值和时间的工频过电压和谐振过电压。

(3) 某变电所中有一照明灯塔上装有避雷针，照明灯电源线采用直接埋入地下带金属外皮的电缆。电缆外皮埋地长度为下列哪几种时，不允许与 35kV 电压配电装置的接地网及低压配电装置相连？（2011）

- (A) 15m (B) 12m (C) 10m (D) 8m

▶ 答案：[C、D]

▶ 依据：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 7.1.10 条。

7.1.10 火力发电厂烟囱附近的引风机及其电动机的机壳应与主接地网连接，并应装设集中接地装置，该接地装置宜与烟囱的接地装置分开。如不能分开，引风机的电源线应采用带金属外皮的电缆，电缆的金属外皮应与接地装置连接。机械通风冷却塔上电动机的电源线、装有避雷针和避雷线的架构上的照明灯电源线，均必须采用直接埋入地下的带金属外皮的电缆或穿入金属管的导线。电缆外皮或金属管埋地长度在 10m 以上，才允许与 35kV 及以下配电装置的接地网及低压配电装置相连接。

严禁在装有避雷针、避雷线的构筑物上架设未采取保护措施通信线、广播线和低压线。

168

(4) 一般情况下，发电厂和变电所中下列哪些设施应装设直击雷保护装置？（2011）

- (A) 屋外配电装置 (B) 火力发电厂的烟囱、冷却塔
(C) 发电厂的主厂房 (D) 发电厂和变电所的控制室

▶ 答案：[A、B]

▶ 依据：根据《交流电气装置的过电压保护与绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 7.1.1、7.1.2 条。

7.1.1 发电厂和变电所的直击雷过电压保护可采用避雷针或避雷线。下列设施应装设直击雷保护装置：

- a) 屋外配电装置，包括组合导线和母线廊道；
- b) 火力发电厂的烟囱、冷却塔和输煤系统的高建筑物；
- c) 油处理室、燃油泵房、露天油罐及其架空管道、装卸油台、易燃材料仓库等建筑物；
- d) 乙炔发生站、制氢站、露天氢气罐、氢气罐储存室、天然气调压站、天然气架空管道及其露天贮罐；
- e) 多雷区的列车电站。

7.1.2 发电厂的主厂房、主控制室和配电装置室一般不装设直击雷保护装置。为保护其他设备而装设的避雷针，不宜装在独立的主控制室和 35kV 及以下变电所的屋顶上。但采用钢结构或钢筋混凝土结构等有屏蔽作用的建筑物的车间变电所可不受此限制。

雷电活动特殊强烈地区的主厂房、主控制室和配电装置室宜设直击雷保护装置。

主厂房如装设避直击雷保护装置或为保护其他设备而在主厂房上装设避雷针，应采取加强分流、装设集中接地装置、设备的接地点尽量远离避雷针接地引下线的入地点、避雷针接地引下线尽量远离电气设备等防止反击的措施，并宜在靠近避雷针的发电机出口处装设一组旋转电机阀式避雷器。

主控制室、配电装置室和 35kV 及以下变电所的屋顶上如装设直击雷保护装置时，若为金属屋顶或屋顶上有金属结构，则将金属部分接地；若屋顶为钢筋混凝土结构，则将其焊接成网接地；若结构为非导电的屋顶时，则采用避雷带保护，该避雷带的网格为 8m ~ 10m，每隔 10m ~ 20m 设引下线接地。

上述接地引下线应与主接地网连接，并在连接处加装集中接地装置。

峡谷地区的发电厂和变电所宜用避雷线保护。

已在相邻高建筑物保护范围内的建筑物或设备，可不装设直击雷保护装置。

屋顶上的设备金属外壳、电缆金属外皮和建筑物金属构件均应接地。

(5) 发电厂、变电所中的 220kV 配电装置，采用无间隙氧化锌避雷器作为雷电过电压保护，其避雷器应符合下列哪些要求？(2011)

- (A) 避雷器的持续运行电压 $220/\sqrt{3}\text{kV}$ ，额定电压 $0.75 \times 220\text{kV}$
- (B) 避雷器的持续运行电压 $242/\sqrt{3}\text{kV}$ ，额定电压 $0.8 \times 242\text{kV}$
- (C) 避雷器的持续运行电压 $252/\sqrt{3}\text{kV}$ ，额定电压 $0.75 \times 252\text{kV}$
- (D) 避雷器能承受所在系统作用的暂时过电压和操作过电压能量

▶ 答案：[C、D]

▶ 依据：《交流电气装置的过电压保护与绝缘配合》(DL/T 620—1997) 表 3 (见本章单选题第 (2) 题) 及 5.3.4 条。

5.3.4 采用无间隙金属氧化物避雷器作为雷电过电压保护装置时，应符合下列要求：

- a) 避雷器的持续运行电压和额定电压应不低于表 3 所列数值。
- b) 避雷器能承受所在系统作用的暂时过电压和操作过电压能量。

(6) 在发电厂和变电所中，独立避雷针不应设在人经常通行的地方，当避雷针及其接地装置与道路的距离小于 3m 时，应采取下列哪些措施？(2008)

- (A) 加强分流
- (B) 采取均压措施
- (C) 铺沥青路面
- (D) 设计中接地装置

▶ 答案：[B、C]

▶ 依据：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 7.1.6 条。

7.1.6 独立避雷针(线)宜设独立的接地装置。在非高土壤电阻率地区，其接地电阻不宜超过 10Ω 。当有困难时，该接地装置可与主接地网连接，但避雷针与主接地网

的地下连接点至 35kV 及以下设备与主接地网的地下连接点之间，沿接地体的长度不得小于 15m。

独立避雷针不应设在人经常通行的地方，避雷针及其接地装置与道路或出入口等的距离不宜小于 3m，否则应采取均压措施，或铺设砾石或沥青地面，也可铺设混凝土地面。

(7) 电力系统中的工频过电压一般是由下列哪些因素引起的？(2008)

- (A) 重合闸 (B) 线路空载 (C) 接地故障 (D) 甩负荷

答案：[B、C、D]

依据：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 4.1.1 条。

4.1.1 工频过电压、谐振过电压与系统结构、容量、参数、运行方式以及各种安全自动装置的特性有关。工频过电压、谐振过电压除增大绝缘承受电压外，还对选择过电压保护装置有重要影响。

a) 系统中的工频过电压一般由线路空载、接地故障和甩负荷等引起。对范围 II 的工频过电压，在设计时应结合实际条件加以预测。根据这类系统的特点，有时需综合考虑这几种因素的影响。

通常可取正常送电状态下甩负荷和在线路受端有单相接地故障情况下甩负荷作为确定系统工频过电压的条件。

对工频过电压应采取措施加以降低。一般主要采用在线路上安装并联电抗器的措施限制工频过电压。在线路上架设良导体避雷线降低工频过电压时，宜通过技术经济比较加以确定。系统的工频过电压水平一般不宜超过下列数值：

线路断路器的变电所侧 1.3p. u.

线路断路器的线路侧 1.4p. u.

b) 对范围 I 中的 110kV 及 220kV 系统，工频过电压一般不超过 1.3p. u.；3kV ~ 10kV 和 35kV ~ 66kV 系统，一般分别不超过 $1.1\sqrt{3}$ p. u. 和 $\sqrt{3}$ p. u.。

应避免在 110kV 及 220kV 有效接地系统中偶然形成局部不接地系统，并产生较高的工频过电压。对可能形成这种局部系统、低压侧有电源的 110kV 及 220kV 变压器不接地的中性点应装设间隙。因接地故障形成局部不接地系统时该间隙应动作；系统以有效接地方式运行发生单相接地故障时间隙不应动作。间隙距离的选择除应满足这两项要求外，还应兼顾雷电过电压下保护变压器中性点标准分级绝缘的要求（参见 7.3.5）。

(8) 下列哪些操作可能引起操作过电压？(2008)

- (A) 切除空载变压器 (B) 切除空载线路
(C) 隔离开关操作空载母线 (D) 变压器有载开关操作

答案：[A、B、C]

依据：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 4.2 条。

4.2 操作过电压及保护

4.2.1 线路合闸和重合闸过电压。

空载线路合闸时, 由于线路电感—电容的振荡将产生合闸过电压。线路重合时, 由于电源电势较高以及线路上残余电荷的存在, 加剧了这一电磁振荡过程, 使过电压进一步提高。

4.2.2 空载线路分闸过电压。

空载线路开断时, 如断路器发生重击穿, 将产生操作过电压。

4.2.3 线路非对称故障分闸和振荡解列过电压。

系统送受端联系薄弱, 如线路非对称故障导致分闸, 或在系统振荡状态下解列, 将产生线路非对称故障分闸或振荡解列过电压。

4.2.4 隔离开关操作空载母线的过电压。

隔离开关操作空载母线时, 由于重击穿将会产生幅值可能超过 $2.0p.u.$ 、频率为数百千赫至兆赫的高频振荡过电压。这对范围Ⅱ的电气装置有一定危险。

4.2.5 3kV~66kV 系统开断并联电容补偿装置如断路器发生单相重击穿时, 电容器高压端对地过电压可能超过 $4.0p.u.$ 。开断前电源侧有单相接地故障时, 该过电压将更高。开断时如发生两相重击穿, 电容器极间过电压可能超过 $2.5\sqrt{2}U_{n.C}$ 。

4.2.6 操作空载变压器和并联电抗器等的过电压。

4.2.7 在开断高压感应电动机时, 因断路器的截流、三相同时开断和高频重复重击穿等会产生过电压 (后两种仅出现于真空断路器开断时)。

4.2.8 66kV 及以下系统发生单相间歇性电弧接地故障时, 可产生过电压, 过电压的高低随接地方式不同而异。

(9) 为防止铁磁谐振过电压的产生, 某 500kV 电力线路上接有并联电抗器及中性点接地电抗器, 此接地电抗器的选择需考虑下列哪些因素? (2013)

- (A) 该 500kV 电力线路的充电功率
- (B) 该 500kV 电力线路的相间电容
- (C) 限制潜供电流的要求
- (D) 并联电抗器中性点绝缘水平

答案: [B、C、D]

依据:《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 4.1.3 条。

4.1.3 范围Ⅱ的系统当空载线路上接有并联电抗器, 且其零序电抗小于线路零序容抗时, 如发生非全相运行状态 (分相操动的断路器故障或采用单相重合闸时), 由于线间电容的影响, 断开相上可能发生谐振过电压。

上述条件下由于并联电抗器铁芯的磁饱和特性, 有时在断路器操作产生的过渡过程激发下, 可能发生以工频基波为主的铁磁谐振过电压。

在并联电抗器的中性点与大地之间串接一接地电抗器, 一般可有效地防止这种过电压。该接地电抗器的电抗值宜按补偿并联电抗器所接线路的相间电容选择, 同时应考虑以下因素:

- a) 并联电抗器、接地电抗器的电抗及线路容抗的实际值与设计值的变异范围；
- b) 限制潜供电流的要求；
- c) 连接接地电抗器的并联电抗器中性点绝缘水平。

(10) 在高土壤电阻率地区，水电站和变电站可采取下列哪些降低接地电阻的措施？（2013）

- (A) 当地下较深处的土壤电阻率较低时，可采用井式、深钻式接地极或采用爆破式接地技术
- (B) 当接地网的埋深在 1m 左右时，可增加接地网的埋设深度
- (C) 在水电站和变电站 2000m 以内有较低电阻率的土壤时，敷设引外接地极
- (D) 具备条件时可敷设水下接地网

▶ 答案：[A、C、D]

▶ 依据：《交流电气装置的接地设计规范》（GB/T 50065—2011）第 4.3.1 条第 4 款。

4.3.1 发电厂和变电站水平接地网应符合下列要求：

4 在高土壤电阻率地区，可采取下列降低接地电阻的措施：

- 1) 在发电厂和变电站 2000m 以内有较低电阻率的土壤时，敷设引外接地极；当地下较深处的土壤电阻率较低时，可采用井式、深钻式接地极或采用爆破式接地技术。
- 2) 填充电阻率较低的物质或降阻剂，但应确保填充材料不会加速接地极的腐蚀和其自身的热稳定。
- 3) 敷设水下接地网。水力发电厂可在水库、上游围堰、施工导流隧洞、尾水渠、下游河道或附近的水源中的最低水位以下区域敷设人工接地极。

(11) 330kV 系统中的工频过电压一般由线路空载、接地故障和甩负荷等引起，严重时损坏设备绝缘，下列哪些措施可以限制工频过电压？（2013）

- (A) 在线路上装设氧化锌避雷器
- (B) 在线路上装设高压并联电抗器
- (C) 在线路上装设串联电容器
- (D) 在线路上装设良导体避雷线

▶ 答案：[B、D]

▶ 依据：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 4.1.1 条 a) 款。

4.1.1 工频过电压、谐振过电压与系统结构、容量、参数、运行方式以及各种安全自动装置的特性有关。工频过电压、谐振过电压除增大绝缘承受电压外，还对选择过电压保护装置有重要影响。

a) 系统中的工频过电压一般由线路空载、接地故障和甩负荷等引起。对范围 II 的工频过电压，在设计时应结合实际条件加以预测。根据这类系统的特点，有时需综合考

考虑这几种因素的影响。

通常可取正常送电状态下甩负荷和在线路受端有单相接地故障情况下甩负荷作为确定系统工频过电压的条件。

对工频过电压应采取措施加以降低。一般主要采用在线路上安装并联电抗器的措施限制工频过电压。在线路上架设良导体避雷线降低工频过电压时，宜通过技术经济比较加以确定。系统的工频过电压水平一般不宜超过下列数值：

线路断路器的变电所侧 1.3p. u.

线路断路器的线路侧 1.4p. u.

(12) 在开断高压感应电动机时，因真空断路器的截流、三相同时开断和高频重复重击穿等会产生过电压，工程中一般采取下列哪些措施来限制过电压？（2013）

- (A) 采用不击穿断路器
- (B) 在断路器与电动机之间加装金属氧化物避雷器
- (C) 高压感应电动机合闸的操作过电压一般不超过 2.0p. u.，可不采取保护措施
- (D) 在断路器与电动机之间加装 R-C 阻容吸收装置

► 答案：[B、C、D]

► 依据：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 4.2.7 条。

173

4.2.7 在开断高压感应电动机时，因断路器的截流、三相同时开断和高频重复重击穿等会产生过电压（后两种仅出现于真空断路器开断时）。过电压幅值与断路器熄弧性能、电动机和回路元件参数等有关。开断空载电动机的过电压一般不超过 2.5p. u.。开断起动过程中的电动机时，截流过电压和三相同时开断过电压可能超过 4.0p. u.，高频重复重击穿过电压可能超过 5.0p. u.。采用真空断路器或采用的少油断路器截流值较高时，宜在断路器与电动机之间装设旋转电机金属氧化物避雷器或 R-C 阻容吸收装置。

高压感应电动机合闸的操作过电压一般不超过 2.0p. u.，可不采取保护措施。

3. 案例题

题 1：某 110kV 变电所装有两台三卷变压器，额定容量为 120/120/60MVA，额定电压为 110/35/10kV，阻抗为 $U_{k(1-2)}\% = 9.5$ 、 $U_{k(3-1)}\% = 28$ 、 $U_{k(2-3)}\% = 19$ 。主变 110kV、35kV 侧均为架空进线，110kV 架空出线至 2km 之外的变电所（全线有避雷线），35kV 和 10kV 为负荷线，10kV 母线上装设有并联电容器组，其电气主接线如图 7-1 所示。图中 10kV 配电装置距主变压器 1km，主变 10kV 侧采用 3×185 铜芯电缆接至 10kV 母线，电缆单位长度电阻为 $0.103\Omega/\text{km}$ ，电抗为 $0.069\Omega/\text{km}$ ，功率因数 $\cos\varphi = 0.85$ 。请回答下列问题。（计算题按最接近数值选项）（2011）

(1) 请计算图中 110kV 母线氧化锌避雷器最大保护的电气距离为下列哪项数值？（除变压器之外）

- (A) 165m
- (B) 223m
- (C) 230m
- (D) 310m

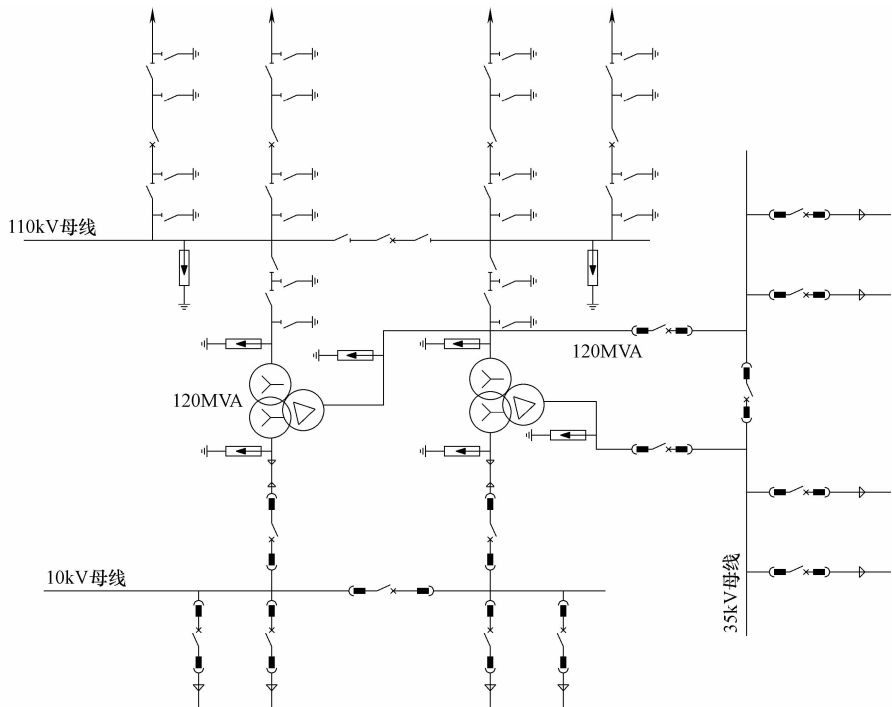


图 7-1 电气主接线

答案：[C]

解答过程：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 7.3.4 条 b）款。

7.3.4 具有架空进线的 35kV 及以上发电厂和变电所敞开式高压配电装置中阀式避雷器的配置。

b) 35kV 及以上装有标准绝缘水平的设备和标准特性阀式避雷器且高压配电装置采用单母线、双母线或分段的电气主接线时，碳化硅普通阀式避雷器与主变压器间的最大电气距离可参照表 11 确定。对其他电器的最大距离可相应增加 35%。

金属氧化物避雷器与主变压器间的最大电气距离可参照表 12 确定。对其他电器的最大距离可相应增加 35%。

表 12 金属氧化物避雷器至主变压器间的最大电气距离 m

系统标称电压 kV	进线长度 km	进 线 路 数			
		1	2	3	≥4
110	1	55	85	105	115
	1.5	90	120	145	165
	2	125	170	205	230
220	2	125	195	235	265
		(90)	(140)	(170)	(190)

注：1. 本表也适用于电站碳化硅磁吹避雷器(FM)的情况。

2. 表 12 括号内距离对应的雷电冲击全波耐受电压为 850kV。

注：1. 标准绝缘水平指 35kV、66kV、110kV 及 220kV 变压器、电压互感器标准雷电冲击全波耐受电压分别为 200kV、325kV、480kV 及 950kV。

2. 110kV 及 220kV 金属氧化物避雷器在标称放电电流下的残压分别为 260kV 及 520kV。

根据第 7.3.4 条第 b) 款及表 12 可知, 110kV 金属氧化物避雷器对保护电器 (除主变外) 的最大距离在 110kV 金属氧化物避雷器对主变的最大距离上相应增加 35%, 即 $170 \times (1 + 35\%) \text{ m} = 230 \text{ m}$, 故选 C 为正确答案。

► 分析: 本题中 110kV 采用的是单母分段接线, 每段母线都安装有金属氧化物避雷器, 进线路数应该算两回, 进线长度是 2km。

(2) 假设图中主变压器最大年利用小时数为 4000h, 成本按 0.27 元/kW·h, 经济电流密度取 0.455A/mm², 主变 110kV 侧架空导线采用铝绞线, 按经济电流密度选择的导线截面应为 ()。

- (A) $2 \times 400 \text{ mm}^2$ (B) $2 \times 500 \text{ mm}^2$ (C) $2 \times 630 \text{ mm}^2$ (D) $2 \times 800 \text{ mm}^2$

► 答案: [D]

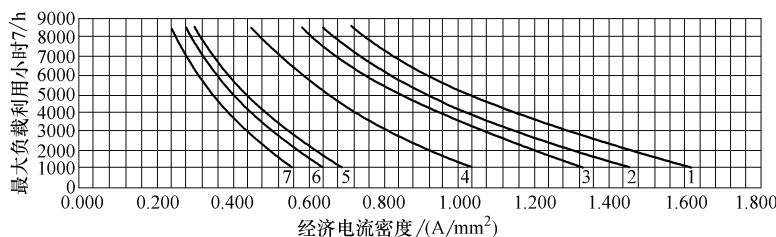
► 解答过程: 已知最大负荷利用小时数 $T = 4000 \text{ h}$, 成本电价为 0.27 元/kW·h, 主变 110kV 架空线采用铝绞线, 查《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 图 E.7, 得经济电流密度为 0.455A/mm²。根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 6-3, 主变回路持续工作电流为变压器额定电流的 1.3~2 倍, 可得

$$I_g = 1.05 \frac{S}{\sqrt{3} \times U_N} = (1.3 \sim 2) \times \frac{120}{\sqrt{3} \times 110} \text{ kA} = 0.818 \sim 1.259 \text{ kA} = 818 \sim 1259 \text{ A}$$

再根据式 (8-2) 得

$$S_j = \frac{818 \sim 1259}{0.455} \text{ mm}^2 = 1798 \sim 2767 \text{ mm}^2$$

又根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 336 页 (三) 规定: 当无合适规格的导体时, 导线面积可小于经济电流密度的计算截面; 或根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 7.1.6 条的规定, 当无合适规格导体时, 导体面积可按经济电流密度计算截面的相邻下一档选取。故本题选 D。



1—矩形铜母线 2—共箱铜母线 3—封闭母线 4—铝锰合金管形母线
5—矩形铝母线 6—铝绞线 7—共箱铝母线

图 E.7 铜、铝母线经济电流密度 ($P = 0.27$ 元/kWh)

► 分析: 本题经济密度已知, 无须查表。

(3) 请校验 10kV 配电装置至主变压器电缆末端的电压损失最接近下列哪项数值?

- (A) 5.25% (B) 7.8% (C) 9.09% (D) 12.77%

答案：[B]

解答过程：电力电缆按持续允许电流选择后，还要进行热稳定和电压损失校验。根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式（17-6）可得

$$\begin{aligned}\Delta U\% &= \frac{173}{U} I_{\text{g}} L (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \\ &= \frac{173}{U} \times \frac{1.05 S}{\sqrt{3} U_{\text{N}}} \times L (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \\ &= \frac{173}{10000} \times \frac{1.05 \times 60000}{\sqrt{3} \times 10} \times 1 \times (0.103 \times 0.85 + 0.069 \times 0.527) \\ &= 7.8\end{aligned}$$

(4) 假设 10kV 母线上电压损失为 5%，为保证母线电压正常为 10kV，请计算需补偿的最大容性无功容量最接近下列哪项数值？

(A) 38.6Mvar (B) 46.1Mvar (C) 68.8Mvar (D) 72.1Mvar

答案：[C]

解答过程：本题考察无功补偿容量的计算问题。根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第九章式（9-4）可得

$$Q_{\text{cum}} = \frac{\Delta U_{\text{m}} U_{\text{m}}}{X_1} = \frac{0.5 \times 9.5}{0.069 \times 1} \text{Mvar} = 68.8 \text{Mvar}$$

(5) 图 7-1 中，取基准容量 $S_{\text{j}} = 1000 \text{MVA}$ ，其 110kV 系统正序阻抗标么值为 0.012，当 35kV 母线发生三相短路时，其归算至短路点的阻抗标么值最接近下列哪项？

(A) 1.964 (B) 0.798
(C) 0.408 (D) 0.399

答案：[C]

解答过程：先做出系统电抗图，如图 7-2 所示。
变压器并列运行，可得

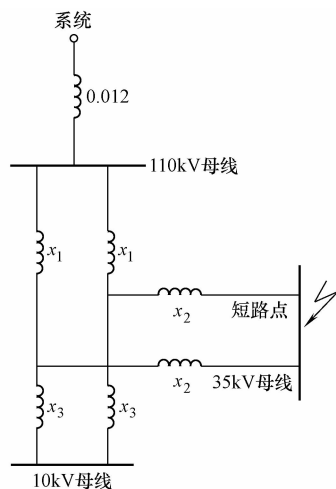


图 7-2 系统电抗图

$$U_{\text{k1}}\% = \frac{1}{2} (U_{\text{k}(1-2)}\% + U_{\text{k}(3-1)}\% - U_{\text{k}(2-3)}\%) = \frac{1}{2} \times (9.5 + 28 - 19) = 9.25$$

$$U_{\text{k2}}\% = \frac{1}{2} (U_{\text{k}(1-2)}\% + U_{\text{k}(2-3)}\% - U_{\text{k}(3-1)}\%) = \frac{1}{2} \times (9.5 + 19 - 28) = 0.25$$

$$U_{\text{k3}}\% = \frac{1}{2} (U_{\text{k}(3-1)}\% + U_{\text{k}(2-3)}\% - U_{\text{k}(1-2)}\%) = \frac{1}{2} \times (28 + 19 - 9.5) = 18.75$$

$$\Rightarrow x_1 = \frac{U_{\text{k1}}\%}{100} \times \frac{S_{\text{j}}}{S_{\text{e}}} = \frac{9.25}{100} \times \frac{1000}{120} = 0.77$$

$$\Rightarrow x_2 = \frac{U_{k2}\%}{100} \times \frac{S_j}{S_e} = \frac{0.25}{100} \times \frac{1000}{120} = 0.02$$

$$x_{js} = 0.012 + \frac{x_1 + x_2}{2} = 0.012 + \frac{0.77 + 0.02}{2} = 0.407$$

题 2: 某发电厂（或变电所）的 220kV 配电装置地处海拔高度 3000m，盐密为 0.18mg/cm²，采用户外敞开式中型布置，构架高度为 20m，220kV 采用无间隙金属氧化物避雷器和避雷针作为雷电过电压保护。请回答下列各题。（计算保留两位小数）（2011）

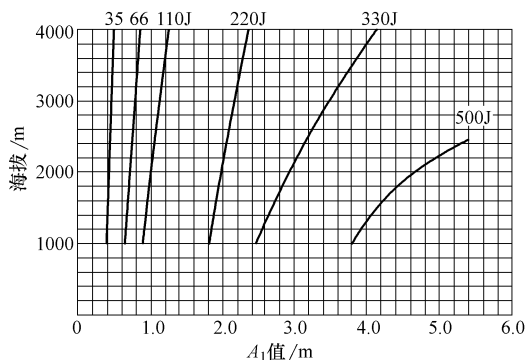
(1) 请计算该 220kV 配电装置无遮栏裸导体至地面之间的距离应为下列哪项数值？

- (A) 4300mm (B) 4680mm (C) 5125mm (D) 5375mm

答案：[B]

解答过程：根据《高压配电装置设计技术规程》（DL/T 5352—2006）表 8.1.1 可得，220kV 配电装置无遮栏裸导体至地面之间的距离为 4300mm，考虑到海拔大于 1000m，应对 A_1 值进行修正，查该规程附录 B 图 B.1 得 A_1 值修正后为 2.18m，增加了 (2180 - 1800) mm = 380mm。 A_1 值修正后，其他距离应作相应的增加，故答案为 (4300 + 380) mm = 4680mm。

海拔大于 1000m 时 A 值的修正



注： A_2 值和屋内的 A_1 、 A_2 值可按本图之比例递增

图 B.1 海拔大于 1000m 时 A 值的修正

分析：本题内容上属于配电装置，考虑题目连贯和完整性，把它列入这一章。

(2) 该配电装置母线避雷器的额定电压和持续运行电压应选择下列哪组数据？依据是什么？

- (A) 165kV、127.02kV (B) 172.5kV、132.79kV
(C) 181.5kV、139.72kV (D) 189kV、145.49kV

答案：[D]

解答过程：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）表 3（见本章单选题第（2）题）知，无间隙金属氧化物避雷器额定电压和持续运行电压对 220kV 有效接地系统分别为

$$0.75U_m = 0.75 \times 252\text{kV} = 189\text{kV}$$

以及

$$\frac{U_m}{\sqrt{3}} = \frac{252}{\sqrt{3}}\text{kV} = 145.49\text{kV}。$$

(3) 该 220kV 系统工频过电压一般不应超过下列哪一数值？依据是什么？

- (A) 189.14kV (B) 203.69kV (C) 327.6kV (D) 352.8kV

答案：[A]

解答过程：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 4.1.1 条 b) 款。

b) 对范围 I 中的 110kV 及 220kV 系统，工频过电压一般不超过 1.3p. u.；3kV ~ 10kV 和 35kV ~ 66kV 系统，一般分别不超过 $1.1\sqrt{3}$ p. u. 和 $\sqrt{3}$ p. u.。

应避免在 110kV 及 220kV 有效接地系统中偶然形成局部不接地系统，并产生较高的工频过电压。对可能形成这种局部系统、低压侧有电源的 110kV 及 220kV 变压器不接地的中性点应装设间隙。因接地故障形成局部不接地系统时该间隙应动作；系统以有效接地方式运行发生单相接地故障时间隙不应动作。间隙距离的选择除应满足这两项要求外，还应兼顾雷电过电压下保护变压器中性点标准分级绝缘的要求（参见 7.3.5）。

由此可得对范围 I 中的 110kV 及 220kV 系统，工频过电压一般不超过

$$1.3\text{p. u.} = 1.3 \times \frac{U_m}{\sqrt{3}} = 1.3 \times \frac{252}{\sqrt{3}}\text{kV} = 189.1\text{kV}。$$

(4) 该配电装置防直击雷保护采用在构架上装设避雷针的方式，当需要保护的设备高度为 10m，要求保护半径不小于 18m 时，计算需要增设的避雷针最低高度应为下列哪项数值？

- (A) 5m (B) 6m (C) 25m (D) 26m

答案：[B]

解答过程：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）式 (4)、式 (5)、式 (6)。已知保护半径 $r = 18\text{m}$ ，被保护物高度 $h_x = 10\text{m}$ ，架构高度为 20m，设架构高度加上避雷针高度为 h ，则有

$$h_x < 0.5h$$

根据式 (6) 有

$$\begin{aligned} r_x &= (1.5h - 2h_x)P = (1.5 \times h - 2 \times 10) \times 1 \\ \Rightarrow 18 &= 1.5h - 20 \\ \Rightarrow h &= 25.3\text{m} \end{aligned}$$

减去架构的高度可得避雷针高度应该大于 5.3m，可得本题答案为 B。

5.2.1 单支避雷针的保护范围 (图 2):

a) 避雷针在地面上的保护半径, 应按下式计算:

$$r = 1.5hP \quad (4)$$

式中 r ——保护半径, m; h ——避雷针的高度, m; P ——高度影响系数, $h \leq 30\text{m}$, $P = 1$; $30\text{m} < h \leq 120\text{m}$, $P = \frac{5.5}{\sqrt{h}}$; 当 $h > 120\text{m}$ 时,

取其等于 120m。

b) 在被保护物高度 h_x 水平面上的保护半径应按下列方法确定:1) 当 $h_x \geq 0.5h$ 时

$$r_x = (h - h_x)P = h_a P \quad (5)$$

式中 r_x ——避雷针在 h_x 水平面上的保护半径, m; h_x ——被保护物的高度, m; h_a ——避雷针的有效高度, m。2) 当 $h_x < 0.5h$ 时

$$r_x = (1.5h - 2h_x)P \quad (6)$$

(5) 计算该 220kV 配电装置中的设备外绝缘爬电距离应为下列哪项数值?

- (A) 5000mm (B) 5750mm (C) 6050mm (D) 6300mm

答案: [D]

解答过程: 根据《高压配电装置设计技术规程》(DL/T 5352—2006) 表 A.1, 根据盐密为 $0.18\text{mg}/\text{cm}^2$, 可知该配电装置所处区域为Ⅲ级污秽区。再根据表 A.2 得 220kV 发电厂、变电站Ⅲ级污秽区的爬电距离为 $\lambda = 2.5\text{cm}/\text{kV}$, 则设备外绝缘爬电距离为

$$L = \lambda U_m = 2.5 \times 252\text{cm} = 630\text{cm} = 6300\text{mm}$$

题 3: 建设在海拔为 2000m、污秽等级为Ⅲ级的 220kV 屋外配电装置, 采用双母线接线, 有 2 回进线, 2 回出线, 均为架空线路, 220kV 为有效接地系统, 其主要接线如图 7-3 所示。(2011)

(1) 请计算母线氧化锌避雷器保护电气设备的最大距离 (除主变外)。

- (A) 165m (B) 195m (C) 223m (D) 263m

答案: [D]

解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 7.3.4 条第 b) 款: 金属氧化物避雷器与主变压器的最大电器距离可参照表 12 确定, 对其他电器的最大距离可相应增加 35%。查表 12 得 220kV 金属氧化物避雷器至主变压器间的最大距离对两回进线的距离为 195m, 增加 35% 得 $195 \times (1 + 35\%) \text{m} = 263\text{m}$, 故选 D。

分析：本题若未看清楚题目中的“除主变外”，就很容易选成 195m。

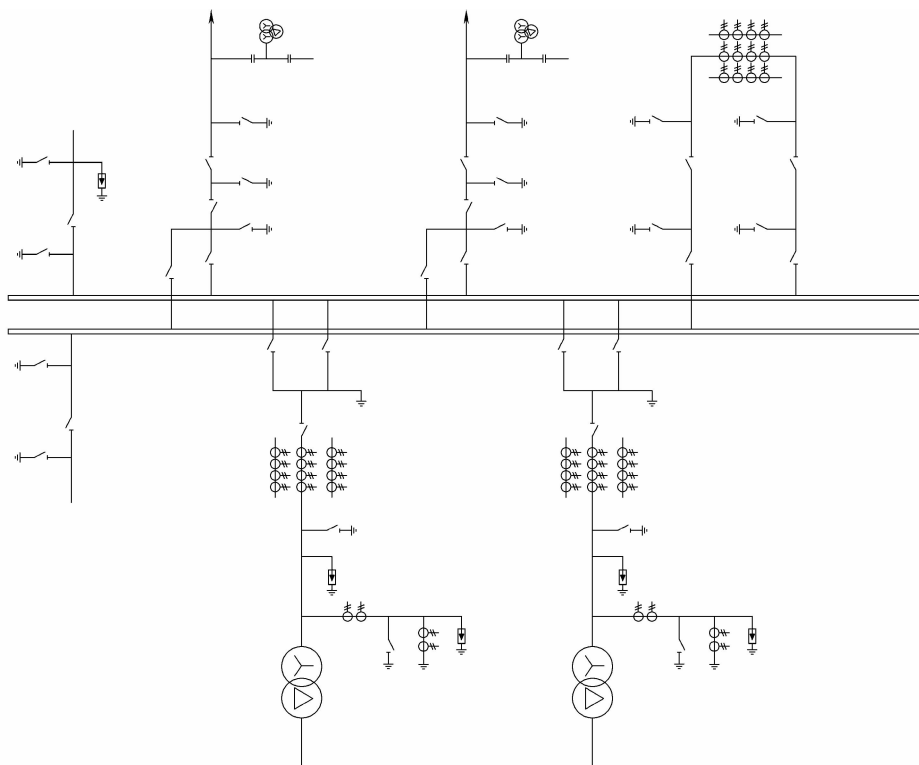


图 7-3 主接线图

180

(2) 图中电气设备的外绝缘当在海拔 1000m 下试验时，其耐受电压为 ()。

- (A) 相对地雷电冲击电压耐压 950kV，相对地工频耐受电压 395kV
- (B) 相对地雷电冲击电压耐压 1055kV，相对地工频耐受电压 438.5kV
- (C) 相对地雷电冲击电压耐压 1050kV，相对地工频耐受电压 460kV
- (D) 相对地雷电冲击电压耐压 1175kV，相对地工频耐受电压 510kV

答案：[B]

解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 6.0.8 条规定：“对安装在海拔高度超过 1000m 地区的电器外绝缘应予校验，当海拔高度在 4000m 以下时，其实验电压应乘以系数 K ”，系数 K 的计算公式如下：

$$K = \frac{1}{1.1 - \frac{H}{10000}} = \frac{1}{1.1 - \frac{2000}{10000}} = 1.11$$

又根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 附录 B 表 B.1 或《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 表 19 得 220kV 系统相对地雷电冲击电压耐压为 950kV，相对地工频耐受电压为 395kV，再乘以 K 值得

$$1.11 \times 950\text{kV} \approx 1055\text{kV}$$

$$1.11 \times 395\text{kV} \approx 438.5\text{kV}$$

表 B.1 电压范围 I (1kV < U _m ≤ 252kV) 的设备的标准绝缘水平					kV
系统标称电压 (有效值)	设备最高电压 (有效值)	额定雷电冲击耐受电压(峰值)		额定短时工频 耐受电压 (有效值)	
		系统 I	系列 II		
3	3.5	20	40	18	
6	6.9	40	60	25	
10	11.5	60	75 95	30/42 ^c ;35	
15	17.5	75	95 105	40;45	
20	23.0	95	125	50;55	
35	40.5	185/200 ^a		80/95 ^c ;85	
66	72.5	325		140	
110	126	450/480 ^a		185;200	
220	252	(750) ^b		(325) ^b	
		850		360	
		950		395	
		(1050) ^b		(460) ^b	

注：系统标称电压（3~15）kV 所对应设备的系列 I 绝缘水平，在我国仅用于中性点直接接地系统。

a 该栏斜线下之数据仅用于变压器类设备的内绝缘。

b 220kV 设备，括号内的数据不推荐选用。

c 为设备外绝缘在干燥状态下之耐受电压。

表 19 电压范围 I 电气设备选用的耐受电压										
系统标称电压 kV	设备最高电压 kV	设备类别	雷电冲击耐受电压 kV				短时(1 min)工频耐受电压 (有效值)kV			
			相对地	相间	断口		相对地	相间	断口	
					断路器	隔离开关			断路器	隔离开关
3	3.6	变压器	40	40	—	—	20	20	—	—
		开关	40	40	40	46	25	25	25	27
6	7.2	变压器	60(40)	60(40)	—	—	25(20)	25(20)	—	—
		开关	60(40)	60(40)	60	70	30(20)	30(20)	30	34
10	12	变压器	75(60)	75(60)	—	—	35(28)	35(28)	—	—
		开关	75(60)	75(60)	75(60)	85(70)	42(28)	42(28)	42(28)	49(35)
15	18	变压器	105	105	—	—	45	45	—	—
		开关	105	105	115	—	46	46	56	—
20	24	变压器	125(95)	125(95)	—	—	55(50)	55(50)	—	—
		开关	125	125	125	145	65	65	65	79

(续)

系统标称电压 kV	设备最高电压 kV	设备类别	雷电冲击耐受电压 kV				短时(1 min)工频耐受电压 (有效值)kV			
			相对地	相间	断口		相对地	相间	断口	
					断路器	隔离开关			断路器	隔离开关
35	40.5	变压器	185/200	185/200	—	—	80/85	80/85	—	—
		开关	185	185	185	215	95	95	95	118
66	72.5	变压器	350	350	—	—	150	150	—	—
		开关	325	325	325	375	155	155	155	197
110	126	变压器	450/480	450/480	—	—	185/200	185/200	—	—
		开关	450、550	450、550	450、550	520、630	200、230	200、230	200、230	225、265
220	252	变压器	850、950	850、950	—	—	360、395	360、395	—	—
		开关	850、950	850、950	850、950	950、1050	360、395	360、395	360、395	410、460

注：1. 分子、分母数据分别对应外绝缘和内绝缘。
2. 括号内和外数据分别对应是和非低电阻接地系统。
3. 开关类设备将设备最高电压称作“额定电压”。

182

(3) 假设图中变压器容量为 240MVA，最大负荷利用小时数 $T=5000\text{h}$ ，成本电价为 0.2 元/kWh，主变 220kV 侧架空线采用铝绞线，按经济电流密度选择截面为 ()。

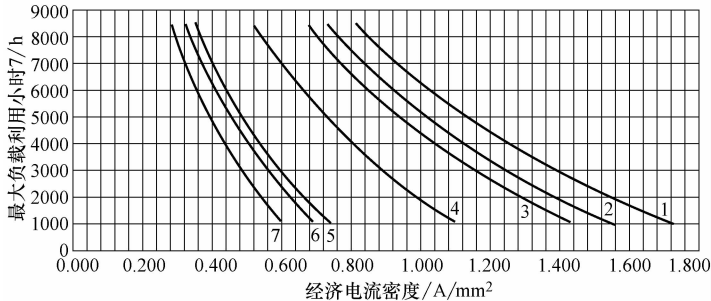
(A) $2 \times 400\text{mm}^2$ (B) $2 \times 500\text{mm}^2$ (C) $2 \times 630\text{mm}^2$ (D) $2 \times 800\text{mm}^2$

答案：[D]

解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 图 E.6，及最大负荷利用小时数 $T=5000\text{h}$ ，成本电价为 0.2 元/kWh，主变 220kV 架空线采用铝绞线等信息，得经济电流密度为 $0.46\text{A}/\text{mm}^2$ ，根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 6-3 可得，主变回路持续工作电流为 1.3~2 倍变压器额定电流，可得

$$I_g = (1.3 \sim 2) \times \frac{240}{\sqrt{3} \times 220} \text{kA} = 0.818 \sim 1.259 \text{kA} = 818 \sim 1259 \text{A}$$

(因两台变频器互为备用，因此要考虑变压器的过负荷能力)



1—矩形铜母线 2—共箱铜母线 3—封闭母线 4—铝锰合金管形母线
5—矩形铝母线 6—铝绞线 7—共箱铝母线

图 E.6 铜、铝母线经济电流密度 ($P=0.2$ 元/kWh)

再根据式 (8-2) 得

$$S_j = \frac{818 \sim 1259}{0.46} \text{mm}^2 = 1778 \sim 2738 \text{mm}^2$$

又根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 336 页 (三) 规定: 当无合适规格的导体时, 导线面积可小于经济电流密度的计算截面; 或根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 7.1.6 条的规定: 当无合适规格导体时, 导体面积可按经济电流密度计算截面的相邻下一档选取。故本题选 D。

(4) 配电装置内母线耐张绝缘子采用 XPW-160 (每片的几何爬电距离为 450mm), 爬电距离有效系数为 1, 请计算按工频电压的爬电距离选择每串的片数为 ()。

- (A) 14 (B) 15 (C) 16 (D) 18

答案: [D]

解答过程: 1) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 附录 C 表 C.2 (见第四章单项选择题第 (5) 题) 可知, III 级污秽区 220kV 配电装置泄漏比距 $\lambda = 2.5 \text{cm/kV}$ 。

2) 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 10.2.1 条或《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 6-7 节第四部分悬式绝缘子片数选择 (或《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 条文说明第 (13) 式), 按照工频电压和泄漏比距选择绝缘子片数, 故有

$$m \geq \frac{\lambda U_m}{K_e L_0} = \frac{2.5 \times 252}{1 \times 45} = 14$$

10.2.1 0 级污秽区线路绝缘子串:

a) 每串绝缘子片数应符合工频电压的爬电距离要求, 同时应符合操作过电压要求。

1) 由工频电压爬电距离要求的线路每串绝缘子片数应符合下式要求:

$$m \geq \frac{\lambda U_m}{K_e L_0} \quad (23)$$

式中 m ——每串绝缘子片数;

U_m ——系统最高电压, kV;

λ ——爬电比距, 330kV 及以上为 1.45, 220kV 及以下为 1.39, cm/kV;

L_0 ——每片悬式绝缘子的几何爬电距离, cm;

K_e ——绝缘子爬电距离的有效系数, 主要由各种绝缘子爬电距离在试验和运行中提高污秽耐压的有效性来确定; 并以 XP—70 型绝缘子作为基础, 其 K_e 值取为 1。

几何爬电距离 290mm 的 XP—160 型绝缘子的 K_e 暂取为 1。采用其它型式绝缘子时, K_e 应由试验确定。

3) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 21.0.12 条: 在海拔高度为 1000 ~ 4000m 地区, 当需要增加绝缘子数量来加强绝缘时, 耐张绝缘子串的片数应按下式修正:

$$N_{\#} = N[1 + 0.1(H - 1)] = 14 \times [1 + 0.1 \times (2 - 1)] = 15.4$$

又根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 21.0.9 条: 选择悬式绝缘子应考虑绝缘子的老化, 每串绝缘子要预留的零值绝缘子, 对 35 ~ 220kV 耐张绝缘子串预留两片零值绝缘子, 故总的绝缘子片数应为 17.4 片, 故本题选 D。

► 分析: 线路和发电厂、变电站污秽分级标准也可以从以下两个规程规范中得到, 即

1) 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 附录 C。

2) 《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 附录 B。

另外, 关于是否加零值绝缘子的问题, 原则是厂(站)加, 线路不加。厂(站)用《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 作为答题依据, 线路用《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 作为答题依据。

(5) 图中变压器中性点氧化锌避雷器持续运行电压和额定电压为哪个?

(A) 持续运行电压为 $0.13U_m$, 额定电压为 $0.17U_m$

(B) 持续运行电压为 $0.45U_m$, 额定电压为 $0.57U_m$

(C) 持续运行电压为 $0.64U_m$, 额定电压为 $0.8U_m$

(D) 持续运行电压为 $0.58U_m$, 额定电压为 $0.72U_m$

► 答案: [B]

► 解答过程: 图中变压器中性点不接地, 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 5.3.4 条和表 3 氧化锌避雷器持续运行电压和额定电压为 $0.45U_m$ 和 $0.57U_m$ 。

题 4: 某新建变电站位于海拔 3600m 地区, 装有 $2 \times 240\text{MVA}$, 330kV 主变, 所内 330kV 配电装置采用双母线接线, 330kV 有 2 回出线。(2010)

(1) 若仅有两条母线上各装设一组无间隙金属氧化物避雷器, 计算其与主变间的距离和对最远电气设备间的电气距离, 分别应不大于 ()。

(A) 90m, 112.5m

(B) 90m, 121.5m

(C) 145m, 175m

(D) 140m, 189m

► 答案: [B]

► 解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 7.2.2 条。

7.2.2 具有架空进线电气设备采用标准绝缘水平的 330kV 发电厂和变电所敞开式高压配电装置中, 金属氧化物避雷器至主变压器的距离, 对于单、双、三和四回进线的情况, 分别为 90m、140m、170m 和 190m。对其他电器的最大距离可相应增加 35%。

可知, 具有架空进线电气设备采用标准绝缘水平的 330kV 变电所敞开式高压配电装置

中,金属氧化物避雷器至主变压器的距离,对于单回进线,为90m。对其他电器的电气距离可相应增加35%,即 $90 \times (1 + 35\%) \text{ m} = 121.5 \text{ m}$ 。

(2) 本变电站330kV电气设备(包括主变)的额定雷电冲击耐受电压为1175kV,若在线路CB线路侧选择一种无间隙金属氧化物避雷器,应选用什么规格?

- (A) Y10W-288/698 (B) Y10W-300/698
(C) Y10W-312/842 (D) Y10W-312/868

► 答案: [B]

► 解答过程: 1) 根据《交流电气装置的过电压保护与绝缘配合》(DL/T 620—1997)第4.1.1条可知对工频过电压应采取措施加以降低,一般主要采用在线路上安装并联电抗器的措施限制工频过电压。系统的工频过电压水平一般不宜超过下列数值:

线路断路器的线路侧 1.4p. u.

线路断路器的变电所侧 1.3p. u.

依题意,避雷器安装在线路CB线路侧,故取1.4p. u.。

2) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)表20.1.7,无间隙金属氧化物避雷器额定电压相对地为

$$0.8U_m = 0.8 \times 363 \text{ kV} = 290.4 \text{ kV} \text{ (根据表20.1.7注,1.4p. u. 应取0.8)}。$$

故可首先排除答案A。

3) 根据《交流电气装置的过电压保护与绝缘配合》(DL/T 620—1997)第10.4.4条,变压器内、外绝缘的全波额定雷电冲击耐压与避雷器标称放电电流下的残压配合系数取1.4。根据该规范的式(28)有

$$\bar{u}_1 \geq K_5 U_R$$

式中, U_R 为额定残压值, $K_5 = 1.4$

$$\Rightarrow U_R \leq \frac{\bar{u}_1}{K_5} = \frac{1175}{1.4} \text{ kV} = 839.28 \text{ kV}$$

据此,可以排除答案C和D。

综上所述,本题的答案应该为B。

► 分析: 本题相对来说比较难。首先得弄清楚氧化锌避雷器的型号,以Y10W-288/698为例说明:Y表示氧化锌避雷器;10表示标称放电电流;W表示无间隙;288表示氧化锌避雷器额定电压;698表示雷电冲击残压。

(3) 配电装置电气设备的直击雷保护采用在架构上设避雷针的方式,其中两支相距60m,高度为30m,当被保护设备的高度为10m时,请计算两支避雷针对被保护设备联合保护范围的最小宽度是下列哪个?

- (A) 13.5m (B) 15.6m (C) 17.8m (D) 19.3m

► 答案: [C]

► 解答过程: 1) 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

5.2.2 条。

5.2.2 两支等高避雷针的保护范围（图3）：

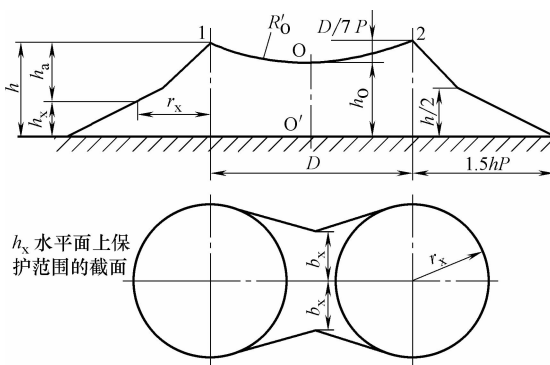


图3 高度为 h 的两等高避雷针的保护范围

a) 两针外侧的保护范围应按单支避雷针的计算方法确定。

b) 两针间的保护范围应按通过两针顶点及保护范围上部边缘最低点 O 的圆弧确定，圆弧的半径为 R'_0 。 O 点为假想避雷针的顶点，其高度应按式计算：

$$h_0 = h - \frac{D}{7P} \quad (7)$$

式中 h_0 ——两针间保护范围上部边缘最低点高度，m；

D ——两避雷针间的距离，m。

两针间 h_x 水平面上保护范围的一侧最小宽度应按图4确定。当 $b_x > r_x$ 时，取 $b_x = r_x$ 。

求得 b_x 后，可按图3绘出两针间的保护范围。

两针间距离与针高之比 D/h 不宜大于5。

对本题，由5.2.2条有

$$h = 30\text{m}, P = 1, h_a = h - h_x = (30 - 10)\text{m} = 20\text{m}$$

$$D = 60\text{m}, h_0 = h - \frac{D}{7P} = \left(30 - \frac{60}{7 \times 1}\right)\text{m} = 21.43\text{m}$$

$$\frac{D}{h_a P} = \frac{60}{20 \times 1} = 3$$

$$h_x/h = 10/30 = 0.333$$

2) 取 $h_x/h = 0.3$ ，根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)的图4，查得 $b_x/h_a P = 0.9$ ，故 $b_x = 0.9h_a P = 0.9 \times 20 \times 1\text{m} = 18\text{m}$ 。从图4趋势上看， $h_x/h = 0.3$ 下的 b_x 比 $h_x/h = 0.333$ 下的 b_x 要大。故 $h_x/h = 0.333$ 的 b_x 应该小于18m，故本题的答案为C。

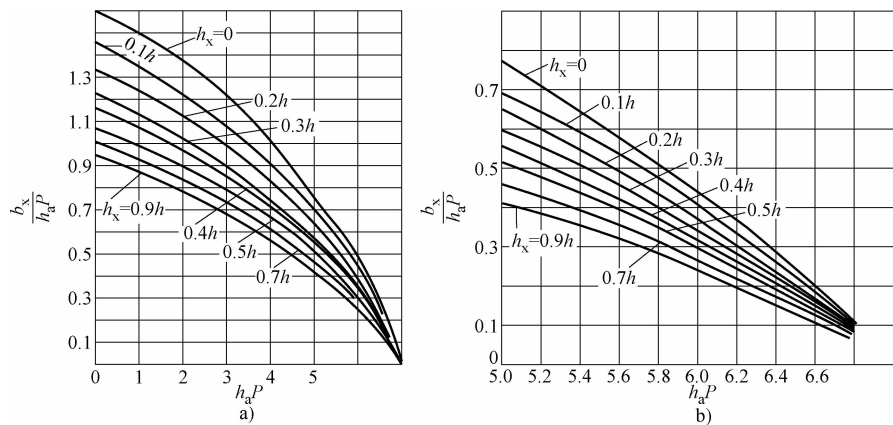


图4 两等高 (h) 避雷针间保护范围的一侧最小宽度 (b_x) 与 $D/h_a P$ 的关系

a) $D/h_a P = 0 \sim 7$ b) $D/h_a P = 5 \sim 7$

(4) 对该变电站绝缘配合，下列说法正确的是 ()。

- (A) 断路器同极断口间灭弧室瓷套的爬电距离不应小于对地爬电距离要求的 1.15 倍
- (B) 变压器内绝缘应进行长时间工频耐压试验，其耐压值应为 1.5 倍系统最高相电压
- (C) 电气设备内绝缘相对地额定操作冲击耐压与避雷器操作过电压保护水平的配合系数不应小于 1.5
- (D) 变压器外绝缘相间稳态额定操作冲击耐压高于其内绝缘相间额定操作冲击耐压

答案：[B]

解答过程：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 10.4.1、10.4.3 条。

10.4.1 变电所电气设备与工频电压的配合：

a) I 级污秽区变电所电气设备户外电瓷绝缘的爬电比距 λ 不应小于 1.60cm/kV (户外电瓷绝缘的瓷件平均直径 $D_m \leq 300\text{mm}$)。不同 D_m 的爬电距离按下式计算：

$$L \geq K_d \lambda U_m \quad (34)$$

式中 L ——电气设备户外电瓷绝缘的几何爬电距离，cm；

K_d ——电气设备户外电瓷绝缘爬电距离增大系数。

K_d 与瓷件直径 D_m 有关，对应不同的 D_m ，宜采用如下的爬电距离增大系数 K_d ：

$D_m < 300\text{mm}$	$K_d = 1.0$
$300\text{mm} \leq D_m \leq 500\text{mm}$	$K_d = 1.1$
$D_m > 500\text{mm}$	$K_d = 1.2$

断路器同极断口间灭弧室瓷套的爬电比距不应小于对地爬电比距要求值的 1.15 (252kV) 或 1.2 (363kV、550kV) 倍。

b) 为保证变压器内绝缘在正常运行工频电压作用下的工作可靠性，应进行长时间工频耐压试验。变压器耐压值为 1.5 倍系统最高相电压。

10.4.3 范围Ⅱ变电所电气设备与操作过电压的绝缘配合：

a) 电气设备内绝缘：

1) 电气设备内绝缘相对地额定操作冲击耐压与避雷器操作过电压保护水平间的配合系数不应小于 1.15。

2) 变压器内绝缘相间额定操作冲击耐压应取其等于内绝缘相对地额定操作冲击耐压的 1.5 倍。

3) 断路器同极断口间内绝缘额定操作冲击耐压 $U_{s.d}$ 应符合下式的要求：

$$U_{s.d} \geq 1.15U_{p.l} + \sqrt{2}U_m/\sqrt{3} \quad (35)$$

b) 电气设备外绝缘：

1) 电气设备外绝缘相对地干态额定操作冲击耐压与相应设备的内绝缘额定操作冲击耐压相同。淋雨耐压值可低 5%。

2) 变压器外绝缘相间干态额定操作冲击耐压与其内绝缘相间额定操作冲击耐压相同。

3) 断路器、隔离开关同极断口间外绝缘额定操作冲击耐压与断路器断口间内绝缘的相应值相同。

对于本题，根据第 10.4.1 条 a) 款可知，断路器同极断口间灭弧室瓷套的爬电比距不应小于对地爬电比距要求的 1.2 倍，故 A 答案错。根据第 10.4.1 条 b) 款可知变压器内绝缘应进行长时间工频耐压试验，其耐压值应为 1.5 倍系统最高相电压，故 B 答案对。根据第 10.4.3 条 a) 款第 1) 点可知，范围Ⅱ变电所电气设备内绝缘相对地额定操作冲击耐压与避雷器操作过电压保护水平的配合系数不应小于 1.15，故 C 答案错。根据第 10.4.3 条 b) 款第 2) 点可知，变压器外绝缘相间干态额定操作冲击耐压与其内绝缘相间额定操作冲击耐压相同，故 D 答案错。

(5) 升压站海拔为 3600m，变压器外绝缘的额定雷电耐受电压为 1050kV，当海拔不高于 1000m 时，试验电压是（ ）。

- (A) 1221.5kV (B) 1307.6kV (C) 1418.6kV (D) 1529kV

答案：[C]

解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 6.0.8 条规定知，对安装在海拔高度超过 1000m 地区的电器外绝缘应予校验，当海拔高度在 4000m 以下时，其实验电压应乘以系数 K ，系数 K 的计算公式如下：

$$K = \frac{1}{1.1 - \frac{H}{10000}} = \frac{1}{1.1 - \frac{3600}{10000}} = 1.35$$

依题意，实验电压为

$$U_{sy} = 1.35 \times 1050\text{kV} = 1417.5\text{kV}$$

故本题选 C。

题 5: 某水电站装有 4 台机组 4 台主变, 采用发电机-变压器之间单元接线, 发电机额定电压为 15.75kV, 1 号和 3 号发电机端装有厂用电源分支引线, 无直馈线路, 主变压器高压侧所连接的 220 kV 屋外配电装置是双母线带旁路接线, 电站出线 4 回, 初期 2 回出线, 电站属于停机频繁的调峰水电厂。(2008)

(1) 水电站的坝区供电采用 10kV, 配电网络为电缆线路, 因此 10kV 系统电容电流超过 30A, 当发生单相接地故障时, 接地电弧不易自行熄灭, 常形成熄灭和重燃交替的间歇性电弧, 往往导致电磁能的强烈振荡, 使故障相、非故障相和中性点都产生过电压, 请问: 这种过电压属于下列哪种类型? 并说明理由。

- (A) 工频过电压 (B) 操作过电压 (C) 谐振过电压 (D) 雷电过电压

答案: [B]

解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 4.2.8 条。

4.2.8 66kV 及以下系统发生单相间歇性电弧接地故障时, 可产生过电压, 过电压的高低随接地方式不同而异。一般情况下最大过电压不超过下列数值:	
不接地系统	3.5 p. u.
消弧线圈接地系统	3.2 p. u.
电阻接地系统	2.5 p. u.

具有限流电抗器、电动机负荷, 且设备参数配合不利的 3kV ~ 10kV 某些不接地系统, 发生单相间歇性电弧接地故障时, 可能产生危及设备相间或相对地绝缘的过电压。对这种系统根据负荷性质和工程的重要程度, 可进行必要的过电压预测, 以确定保护方案。

由 4.2.8 条可知 66kV 及以下系统发生单相间隙性电弧接地故障时, 可产生过电压, 而这种过电压为操作过电压的其中一种。

(2) 若坝区供电的 10kV 配电系统中性点采用低电阻接地方式, 请计算 10kV 母线上的避雷器的额定电压和持续运行电压应取下列哪些数值, 并简要说明理由。

- (A) 12kV 9.6kV (B) 16.56kV 13.2kV
(C) 15kV 12kV (D) 10kV 8kV

答案: [A]

解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 5.3.4 及表 3 (见本章多项选择题第 (5) 题) 得到, 在低电阻的接地方式下, 避雷器的相地持续运行电压和相地额定电压分别不低于 $0.8U_m$ 、 U_m , 又由表 19 (见本章案例题 3 第 (3) 小题) (或者由《标准电压》(GB/T 156—2007) 表 3) 得到 10kV 母线上的避雷器的相地额定电压不低于 12kV, 相地持续运行电压不低于 $12 \times 0.8 = 9.6\text{kV}$ 。故本题选 A。

(3) 水电站的变压器场地布置在坝后式厂房的尾水平台上，220kV 敞开式开关站位于右岸，其 220kV 主母线上有无间隙金属氧化物避雷器，电站出线 4 回，初期 2 回出线，采用同塔双回路型式，变压器雷电冲击全波耐受电压为 950kV，主变压器距离 220kV 开关站避雷器电气距离为 180m，请说明当校核是否在主变附近增设一组避雷器时，应按下列几回线路来校核？

- (A) 1 回 (B) 2 回 (C) 3 回 (D) 4 回

答案：[B]

解答过程：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 7.3.4 条 C 款规定：“架空线路采用双回路杆塔，有同时遭雷击的可能，确定避雷器与变压器最大电气距离时，应按一路考虑，且在雷季中宜避免将其中一路断开。”题中电站最终出线 4 回，采用同塔双回路，故按 2 回路考虑。

(4) 若水电站每台发电机端均装避雷器，1 号和 3 号厂有电源分支采用带金属外皮的电缆段引接，电缆段长 40m，请说明主变低压侧避雷器应按下列哪项配置？

- (A) 需装设避雷器 (B) 需装设二组避雷器
(C) 需装设一组避雷器 (D) 无须装设避雷器

答案：[D]

解答过程：根据《水力发电厂过电压保护和绝缘配合设计技术导则》(DL/T 5090—1999) 第 8.3.8 条可知，为防止高压绕组的雷电波的静电感应电压危及低压绕组绝缘，应在变压器的低压绕组装设一组避雷器，但如该绕组连有 25m 及以上金属外皮电缆段，可不必装设。本题电缆长度为 40m，故无须装设主变低压侧避雷器。

(5) 若该电厂的污秽等线为 II 级，海拔为 2800m，请计算 220kV 配电装置外绝缘的爬电比距应选下列哪组，通过计算并简要说明。

- (A) 1.6cm/kV (B) 2.0cm/kV (C) 2.5cm/kV (D) 3.1cm/kV

答案：[C]

解答过程：1) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 附录 C 表 C2 可得，II 级污秽区 220kV 变电站的爬电距离为 $\lambda = 2\text{cm/kV}$ 。

2) 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 10.2.1 条及式 (23)（或《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 6-7 节第四部分悬式绝缘子片数选择，按照工频电压和泄漏比距选择绝缘子片数）有

$$N \geq \frac{\lambda U_m}{K_e L_0} = \frac{2 \times 252}{K_e L_0} = \frac{504}{K_e L_0}$$

3) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 21.0.12 条：在海拔高度为 (1000 ~ 4000) m 地区，当需要增加绝缘子数量来加强绝缘时，耐张绝缘子串的片数应按式修正：

$$N_H = N[1 + 0.1(H - 1)] \quad (21.0.12)$$

式中

N_H ——修正后的绝缘子片数；

N ——海拔 1000m 及以下地区绝缘子片数；

H ——海拔高度，km。

根据式 (21.0.12) 有

$$N_H \geq N[1 + 0.1(H - 1)] = N[1 + 0.1 \times (2.8 - 1)] = 1.18N$$

4) 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 10.2.1 条及式 (23) 有

$$N_H \geq \frac{\lambda_1 U_m}{K_e L_0} = \frac{252 \lambda_1}{K_e L_0} \geq 1.18N = 1.18 \times \frac{504}{K_e L_0}$$

$$\Rightarrow \lambda_1 \geq 2.36 \text{ cm/kV}$$

故本题选 C 为正确答案。

题 6: 某 500kV 变电站处于Ⅲ级污秽区 (2.5cm/kV)，请对变电站内电气设备的绝缘水平进行选择 and 计算。(2005)

(1) 若 500kV 电流互感器直径为 520mm，计算互感器的电瓷外绝缘爬电距离不应小于下列何值？

- (A) 1237.5cm (B) 1375cm (C) 1512.5cm (D) 1650cm

答案：[D]

解答过程：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 10.4.1 条。

10.4.1 变电所电气设备与工频电压的配合：

a) I 级污秽区变电所电气设备户外电瓷绝缘的爬电比距 λ 不应小于 1.60cm/kV (户外电瓷绝缘的瓷件平均直径 $D_m < 300\text{mm}$)。不同 D_m 的爬电距离按下式计算：

$$L \geq K_d \lambda U_m \quad (34)$$

式中 L ——电气设备户外电瓷绝缘的几何爬电距离，cm；

K_d ——电气设备户外电瓷绝缘爬电距离增大系数。

K_d 与瓷件直径 D_m 有关，对应不同的 D_m ，宜采用如下的爬电距离增大系数 K_d ：

$$D_m < 300\text{mm} \quad K_d = 1.0$$

$$300\text{mm} \leq D_m \leq 500\text{mm} \quad K_d = 1.1$$

$$D_m > 500\text{mm} \quad K_d = 1.2$$

断路器同极断口间灭弧室瓷套的爬电比距不应小于对地爬电比距要求值的 1.15 (252kV) 或 1.2 (363kV、550kV) 倍。

b) 为保证变压器内绝缘在正常运行工频电压作用下的工作可靠性，应进行长时间工频耐压试验。变压器耐压值为 1.5 倍系统最高相电压。

本题中电流互感器直径为 520mm， K_d 应取 1.2，故 500kV 电气设备户外电瓷绝缘的几何爬电距离为

$$L \geq K_d \lambda U_m = 1.2 \times 2.5 \times 550 \text{ cm} = 1650 \text{ cm}$$

(2) 按国家标准规定选取该变电站 500kV 断路器瓷套对地最小爬电距离和按电力行业标准规定选取的断路器同极断口间的爬电距离不应小于下列 ()。

- (A) 1375cm、1650cm (B) 1250cm、1500cm
(C) 1375cm、1375cm (D) 1250cm、1250cm

答案: [A]

解答过程: 1) 500kV 断路器瓷套对地最小爬电距离为

$$L \geq \lambda U_m = 2.5 \times 550 \text{cm} = 1375 \text{cm}$$

2) 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 10.4.1 条 (见上题) 可知, 断路器同极断口间的爬电比距不应小于对地爬电比距的 1.2 倍 (550kV), 故有:

$$L \geq 1.2 L_1 = 1.2 \times 1375 \text{cm} = 1650 \text{cm}$$

(3) 若主变内、外绝缘的全波额定雷电冲击耐压水平为 1425kV, 计算此主变的避雷器标称放电电流下的残压不得高于下列何值?

- (A) 1295kV (B) 1187.5kV (C) 1096kV (D) 1018kV

答案: [D]

解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 10.4.4 条 a) 款可知, 变压器内、外绝缘的全波额定雷电冲击耐压与变电所避雷器标称放电电流下的残压间的配合系数取 1.4。可得主变的避雷器标称放电电流下的残压为

$$U_{bc} \leq \frac{BIL}{1.4} = \frac{1425}{1.4} \text{kV} = 1017.86 \text{kV}$$

题 7: 某企业的 110kV 变电所, 地处海拔高度 900m, 110kV 采用半高型户外配电装置, 110kV 配电装置母线高 10m, 35kV 及 10kV 配电装置选用移开式交流金属封闭开关柜, 室内单层布置, 主变压器布置在室外, 请回答下列问题:

(1) 计算变电所的 110kV 系统工频过电压一般不超过下列哪一项数值? 并说明依据和理由。

- (A) 94.6kV (B) 101.8kV (C) 125kV (D) 138.6kV

答案: [A]

解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 4.1.1 条第 b 款 (见本章案例题第 2 题第 (3) 小题) 可知, 对范围 I 中的 110kV 及 220kV 系统, 工频过电压一般不超过 1.3p. u., 即

$$1.3 \text{p. u.} = 1.3 \frac{U_m}{\sqrt{3}} = 1.3 \times \frac{126}{\sqrt{3}} \text{kV} = 94.6 \text{kV}$$

(2) 该变电所的 110kV 配电装置的防直击雷采用单支独立避雷针保护, 如果避雷针的高度为 30m, 计算该避雷针在地面上和离地面 10m 的平面上的保护半径分别为下列哪一项?

- (A) 45m、20m (B) 45m、25m (C) 45.2m、20.1m (D) 45.2m、25.1m

答案: [B]

解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第

5.2.1 条 a) 款 (见本章例题 2 第 (4) 小题) 有

$$r = 1.5hP = 1.5 \times 30 \times 1\text{m} = 45\text{m}$$

又 $h_x = 10 < 0.5h = 15$, 故有避雷针在 10m 高度的保护范围为

$$r_x = (1.5h - 2h_x)P = (1.5 \times 30 - 2 \times 10) \times 1\text{m} = 25\text{m}$$

(3) 该变电所 10kV 出线带有一台高压感应电动机, 其容量为 600kW, 确定开断空载高压感应电动机的操作电压一般不超过下列哪项数值? 并说明依据和理由。

- (A) 19.6kV (B) 24.5kV (C) 39.2kV (D) 49kV

▶ 答案: [B]

▶ 解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 4.2.7 条。

4.2.7 在开断高压感应电动机时, 因断路器的截流、三相同时开断和高频重复重击穿等会产生过电压 (后两种仅出现于真空断路器开断时)。过电压幅值与断路器熄弧性能、电动机和回路元件参数等有关。开断空载电动机的过电压一般不超过 2.5p. u.。开断启动过程中的电动机时, 截流过电压和三相同时开断过电压可能超过 4.0p. u., 高频重复重击穿过电压可能超过 5.0p. u.。采用真空断路器或采用的少油断路器截流值较高时, 宜在断路器与电动机之间装设旋转电机金属氧化物避雷器或 R-C 阻容吸收装置。高压感应电动机合闸的操作过电压一般不超过 2.0p. u., 可不采取保护措施。

可见开断空载电动机的过电压一般不超过 2.5p. u., 即

$$2.5\text{p. u.} = 2.5 \times \frac{\sqrt{2}U_m}{\sqrt{3}} = 2.5 \times \frac{\sqrt{2} \times 12}{\sqrt{3}}\text{kV} = 24.5\text{kV}$$

▶ 分析: 根据第 3.2.2 条规定知, 谐振过电压和操作过电压的 1p. u. = $\sqrt{2}U_m/\sqrt{3}$ 。而 U_m 可以通过《标准电压》(GB/T 156—2007) 表 3 查得。

表 3 标称电压 1kV 以上至 35kV 的交流三相系统及相关设备的标准电压 kV

设备最高电压	系统标称电压
3.6	3(3.3)
7.2	6
12	10
24	20
40.5	35

注: 1. 表中数值为线电压。

2. 圆括号中的数值为用户有要求时使用。

3. 表中前两组数值不得用于公共配电系统。

(4) 该变电所的 10kV 系统为中性点不接地系统, 当连接有中性点接地的电磁式电压互感器的空载母线, 因合闸充电或在运行时接地故障消除等原因的激发, 会使电压互感器饱和而产生铁磁谐振过电压, 请判断下列为限制此过电压的措施哪项是错误的? 并说明依据和理由。

- (A) 选用励磁特性饱和点较高的电磁式电压互感器

(B) 用架空线路代替电缆以减少 X_{co} ，使 $X_{co} \leq 0.01X_m$ (X_m 为电压互感器在线电压作用下单相绕组的励磁电抗)

(C) 装设专门的消谐装置

(D) 10kV 电压互感器高压绕组中性点经 $R_{p.n} \geq 0.06X_m$ (容量大于 600W) 的电阻接地

答案: [B]

解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 4.1.5 条 d 款 (见本章单项选择题第 (8) 题)。

对于本题, 根据第 1) 款可得 A 答案正确; 根据第 3) 款可得 B 答案错误; 根据第 4) 款可得 C 答案正确; 根据第 5) 款可得 D 答案正确。

(5) 确定在选择 110kV 变压器时, 变压器的内绝缘相对地和相间的雷电冲击耐受电压应为下列哪项? 请说明依据和理由。

(A) 200kV、200kV

(B) 395kV、395kV

(C) 450kV、450kV

(D) 480kV、480kV

答案: [D]

解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 表 19。

第八章 接地

一、大纲要求 ★★★

- 1) 熟悉电气接地的设计;
- 2) 了解直流输电系统接地的基本要求;
- 3) 熟悉高土壤电阻率地区接地设计;
- 4) 掌握接地电阻、接触电位差、跨步电位差的计算。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 25 分,其中专业知识占 15 分左右,案例占 10 分左右。考点集中,考试题目难度一般。答题依据主要有《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第十六章、《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)、《水力发电厂接地设计技术导则》(DL/T 5091—1999)、《高压直流输电大地返回运行系统设计技术规定》(DL/T 5224—2005)等。重点考查接地相关概念、接地电阻计算、接触电位差和跨步电位差的计算、接地装置热稳定校验、人工接地及工频接地电阻的计算、最大接触电位差的概念和最大接触电位差的计算等。(注:《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 2013 年已经不再考试大纲的范围内,但这个规范还没有废止。)

195

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

(1) 110kV 有效接地系统的配电装置,如地表面的土壤电阻率为 $500\Omega\cdot\text{m}$, 单项接地短路电流持续时间为 4s, 则配电装置允许的接触电位差和跨步电位差最接近以下哪组数据? (2012)

- (A) 259V、524V (B) 75V、150V
(C) 129.5V、262V (D) 100V、200V

▶ 答案: [C]

▶ 依据:《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 第 3.4 条。

3.4 发电厂、变电所接地装置的型式和布置时,考虑保护接地的要求,应降低接触电位差和跨步电位差,并应符合下列要求:

a) 在 110kV 及以上有效接地系统和 6~35kV 低电阻接地系统发生单相接地或同点两相接地时,发电厂、变电所接地装置的接触电位差和跨步电位差不应超过下列数值:

$$U_t = \frac{174 + 0.17\rho_f}{\sqrt{t}} \quad (1)$$

$$U_s = \frac{174 + 0.17\rho_f}{\sqrt{t}} \quad (2)$$

式中 U_t ——接触电位差，V；

U_s ——跨步电位差，V；

ρ_f ——人脚站立处地表面的土壤电阻率， $\Omega \cdot m$ ；

t ——接地短路（故障）电流的持续时间，s。

根据式（1）和式（2）有

$$U_t = \frac{174 + 0.17\rho_f}{\sqrt{t}} = \frac{174 + 0.17 \times 500}{\sqrt{4}} V = 129.5 V$$

$$U_s = \frac{174 + 0.7\rho_f}{\sqrt{t}} = \frac{174 + 0.7 \times 500}{\sqrt{4}} V = 262 V$$

► 分析：接触电位差和跨步电位差经常考，要注意区分电压等级。110kV 及以上电压等级的计算公式和 3 ~ 66kV 电压等级的计算公式不同。

（2）关于接地装置，以下哪项不正确？（2012）

- （A）通过水田的铁塔接地装置应敷设为环形
- （B）中性点非直接接地系统在居民区的无地线钢筋混凝土杆和铁塔应接地
- （C）电杆的金属横担与接地引线间应有可靠连接
- （D）土壤电阻率为 $300\Omega \cdot m$ 有地线的杆塔工频接地电阻不应大于 200Ω

► 答案：[D]

► 依据：根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）第 6.3.1 条 e 款：“居民区和水田中的接地装置，宜围绕杆塔基础敷设成闭合环形”，可知 A 答案正确。根据第 4.1 条第 k 款：“除沥青地面的居民区外，其他居民区内，不接地、消弧线圈接地和高电阻接地系统中无避雷线架空线路的金属杆塔和钢筋混凝土杆塔”，可知 B 答案正确。根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 6.1.8 条：“钢筋混凝土杆铁横担和钢筋混凝土横担线路的避雷线支架、导线横担与绝缘子固定部分或瓷横担固定部分之间，宜有可靠的电气连接并与接地引下线相连。主杆非预应力钢筋如上下已用绑扎或焊接连成电气通路，则可兼作接地引下线，利用钢筋兼作接地引下线的钢筋混凝土电杆，其钢筋与接地螺母、铁横担间应有可靠的电气连接”，可知 C 答案正确。根据 6.1.4 条：“有避雷线的线路，每基杆塔不连避雷线的工频接地电阻，在雷季干燥时，不宜超过表 8 所列数值”，可知 D 答案错误。

表 8 有避雷线的线路杆塔的工频接地电阻

土壤电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$	≤ 100	$> 100 \sim 500$	$> 500 \sim 1000$	$> 1000 \sim 2000$	> 2000
接地电阻/ Ω	10	15	20	25	30

注：如土壤电阻率超过 $2000\Omega \cdot \text{m}$ ，接地电阻很难降低到 30Ω 时，可采用 6~8 根总长不超过 500m 的放射形接地体，或采用连续伸长接地体，接地电阻不受限制。

(3) 风电场的测风塔顶部应装设有避雷装置，接地电阻不应大于 ()。(2011)

- (A) 5Ω (B) 10Ω (C) 4Ω (D) 20Ω

答案：[C]

依据：《风电场风能资源测量方法》(GB/T 18709—2002) 第 6.1.4 条：“测风塔顶部应有避雷装置，接地电阻不应大于 4Ω 。”

(4) 架空线路杆塔的接地装置由较多水平接地极或垂直接地极组成时，垂直接地极的间距及水平接地极的间距应符合下列哪一规定？(2011)

- (A) 垂直接地极的间距不应大于其长度的两倍；水平接地极的间距不宜大于 5m
(B) 垂直接地极的间距不应小于其长度的两倍；水平接地极的间距不宜大于 5m
(C) 垂直接地极的间距不应大于其长度的两倍；水平接地极的间距不宜小于 5m
(D) 垂直接地极的间距不应小于其长度的两倍；水平接地极的间距不宜小于 5m

答案：[D]

依据：《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 第 6.3.4 条：“当接地装置由较多水平接地极或垂直接地极组成时，垂直接地极的间距不应小于其长度的两倍；水平接地极间距不宜小于 5m。”

(5) 变电所中，GIS 配电装置的接地线设计原则，以下哪项是不正确的？(2011)

- (A) 在 GIS 配电装置间隔内，设置一条贯穿 GIS 设备所有间隔的接地母线或环行接地母线，将 GIS 配电装置的接地线接至接地母线，再由接地母线与变电所接地网相连
(B) GIS 配电装置宜采用多点接地方式，当采用分相设备时，应设置外壳三相短接线，并在短接线上引出接地线至接地母线
(C) 接地线的截面应满足热稳定要求，对于只有两或四条时其截面热稳定校验电流分别取全部接地电流的 35% 和 70%
(D) 当 GIS 为铝外壳时，短接线宜用铝排，钢外壳时，短接线宜用铜排

答案：[C]

依据：《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 第 6.2.14 条。

6.2.14 发电厂、变电所 GIS 的接地线及其连接应符合以下要求：

- a) 三相共箱式或分相式的 GIS，其基座上的每一接地母线，应采用分设其两端的接地线与发电厂或变电所的接地网连接。接地线并应和 GIS 室内环形接地母线连接。接

地母线较长时，其中部宜另加接地线，并连接至接地网。接地线与 GIS 接地母线应采用螺栓连接方式，并应采取防锈蚀措施。

b) 接地线截面的热稳定校验，应分别按本标准 6.2.7 或 6.2.8 的要求进行。对于只有 2 条或 4 条接地线，其截面热稳定的校验电流分别取全部接地（短路或故障）电流的 70% 和 35%。

c) 当 GIS 露天布置或装设在室内与土壤直接接触的地面上时，其接地开关、金属氧化物避雷器的专用接地端子与 GIS 接地母线的连接处，宜装设集中接地装置。

d) GIS 室内应敷设环形接地母线，室内各种设备需接地的部位应以最短路径与环形接地母线连接。GIS 布置于室内楼板上时，其基座下的钢筋混凝土地板中的钢筋应焊接成网，并和环形接地母线相连接。

根据 b) 款，C 答案应该改为对于只有两或四条时其截面热稳定校验电流分别取全部接地电流的 70% 和 35%。

(6) 某变电所中接地装置的接地电阻为 0.12Ω ，计算用的入地短路电流为 12kA ，最大跨步电位差系数、最大接触电位差系数计算值分别为 0.1 和 0.22 ，请计算，最大跨步电位差、最大接触电位差分别为下列何值？（2011）

(A) 10V、22V

(B) 14.4V、6.55V

(C) 144V、316.8V

(D) 1000V、454.5V

答案：[C]

依据：《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）附录 B 的式（B3）、式（B4）、式（B7）。

B2 发生接地故障时，接地装置的电位、接触电位差和跨步电位差的计算

a) 接地装置的电位可按下式计算

$$U_g = IR \quad (\text{B3})$$

式中 U_g ——接地装置的电位，V；

I ——计算用入地短路电流，A；

R ——接地装置的接地电阻， Ω 。

b) 均压带等间距布置时接地网（见图 B1）地表面的最大接触电位差、跨步电位差的计算：

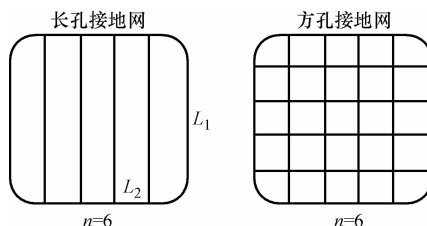


图 B1 接地网的形状

1) 接地网地表面的最大接触电位差, 即网孔中心对接地网接地极的最大电位差, 可按下式计算:

$$U_{\text{tmax}} = K_{\text{tmax}} U_n \quad (\text{B4})$$

式中 U_{tmax} ——最大接触电位差 (V);

K_{tmax} ——最大接触电位差系数。

2) 接地网外的地表面最大跨步电位差可按下式计算

$$U_{\text{smax}} = K_{\text{smax}} U_g \quad (\text{B7})$$

式中 U_{smax} ——最大跨步电位差, V;

K_{smax} ——最大跨步电位差系数。

本题中, 由式 (B3)、式 (B4)、式 (B7) 可得:

$$U_{\text{tmax}} = K_{\text{tmax}} U_g = 0.22 \times 0.12 \times 12 \text{ kV} = 316.8 \text{ V}$$

$$U_{\text{smax}} = K_{\text{smax}} U_g = 0.1 \times 0.12 \times 12 \text{ kV} = 144 \text{ V}$$

(7) 架空送电线路每基杆塔都应良好接地, 降低接地电阻的主要目的是 ()。(2011)

- (A) 减小入地电流引起的跨步电压
- (B) 改善导线绝缘子串上的电压分布 (类似于均压环的作用)
- (C) 提高线路的反击耐雷水平
- (D) 良好的工作接地, 确保带电作业的安全

答案: [C]

依据: 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 5.1.2 条: “宜适当选取杆塔的接地电阻, 以减少雷电反击过电压的危害。”

(8) 某电力工程中的 220kV 户外配电装置出线门形架构 14m, 出线门形架构旁有一冲击电阻为 20Ω 的独立避雷针, 独立避雷针与出线门形架构间的空气距离最小应大于等于 ()。(2011)

- (A) 6m
- (B) 5.4m
- (C) 5m
- (D) 3m

答案: [B]

依据: 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 7.1.11 条。

7.1.11 独立避雷针、避雷线与配电装置带电部分间的空气中距离以及独立避雷针、避雷线的接地装置与接地网间的地中距离。

a) 独立避雷针与配电装置带电部分、发电厂和变电所电气设备接地部分、架构接地部分之间的空气中距离, 应符合下式的要求:

$$S_a \geq 0.2R_i + 0.1h \quad (15)$$

式中 S_a ——空气中距离, m;

R_i ——避雷针的冲击接地电阻, Ω ;

h ——避雷针校验点的高度, m。

由式（15）可得：

$$S_a \geq 0.2R_i + 0.1h = (0.2 \times 20 + 0.1 \times 14) \text{ m} = 5.4 \text{ m}$$

(9) 在低阻接地系统中，流过接地线的单相接地电流为 20kA，短路电流持续时间为 0.2s，接地线材料为钢质，按热稳定条件（不考虑腐蚀，接地线初始温度为 40℃）应选择接地线的最小截面为（ ）。(2008)

- (A) 96mm² (B) 17mm² (C) 130mm² (D) 190mm²

答案：[C]

依据：根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）附录 C1 条及 C1 式。

C1 根据热稳定条件，未考虑腐蚀时，接地线的最小截面应符合的要求：

$$S_g \geq \frac{I_g}{c} \sqrt{t_e} \quad (\text{C1})$$

式中 S_g ——接地线的最小截面，mm²；

I_g ——流过接地线的短路电流稳定值，A（根据系统 5～10 年发展规划，按系统最大运行方式确定）；

t_e ——短路的等效持续时间，s；

c ——接地线材料的热稳定系数，根据材料的种类、性能及最高允许温度和短路前接地线的初始温度确定。

在校验接地线的热稳定时， I_g 、 t_e 及 c 应采用表 C1 所列数值。接地线的初始温度，一般取 40℃。在爆炸危险场所，应按专用规定执行。

表 C1 校验接地线热稳定用的 I_g 、 t_e 和 c 值

系统接地方式	I_g	t_e	c		
			钢	铝	铜
有效接地	单（两）相接地短路电流	见 a) 和 b)	0	120	210
低电阻接地	单（两）相接地短路电流	2s	0	120	210
不接地、消弧线圈接地和高电阻接地	异点两相接地短路电流	2s	0	120	210

根据式（C1）及表 C1 可得

$$S_g \geq \frac{I_g}{C} \sqrt{t_e} = \frac{20 \times 10^3}{70} \times \sqrt{0.2} \text{ mm}^2 \approx 127.7 \text{ mm}^2$$

分析：C 为接地线材的热稳定系数，可由表 C1 查得。考虑低电阻接地对钢质材料 C 取为 70。

(10) 向低压电气装置供电的配电变压器高压侧工作于低电阻接地系统时，若低压系统电源中性点与该变压器保护接地共用接地装置，请问下列哪一个条件是错误的？(2013)

- (A) 变压器的保护接地装置的接地电阻应符合 $R \leq 120/I_g$

- (B) 建筑物内低压电气装置采用 TN-C 系统
- (C) 建筑物内低压电气装置采用 TN-C-S 系统
- (D) 低压电气装置采用 (含建筑物钢筋的) 保护总等电位联结系统

► 答案: [A]

► 依据: 《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011) 第 7.2.6 条、第 4.2.1 条。

7.2.6 向低压电气装置供电的配电变压器的高压侧工作于低电阻接地系统, 变压器的保护接地装置的接地电阻符合本规范第 4.2.1 条的要求, 建筑物内低压采用 TN 系统且低压电气装置采用 (含建筑物钢筋的) 保护等电位联结系统时, 低压系统电源中性点可与该变压器保护接地共用接地装置。

4.2.1 保护接地要求的发电厂和变电站接地网的接地电阻, 应符合下列要求:

1 有效接地系统和低电阻接地系统, 应符合下列要求:

1) 接地网的接地电阻应符合下列公式的要求, 且保护接地接至变电站接地网的站用变压器的低压侧应采用 TN 系统, 低压电气装置应采用 (含建筑物钢筋的) 保护总等电位联结系统:

$$R \leq 2000 / I_G \quad (4.2.1-1)$$

201

2. 多项选择题

(1) 水电站接地电阻当难以满足运行要求时, 因地制宜采用下列哪几条措施是正确的? (2012)

- (A) 水下接地
- (B) 引外接地
- (C) 深井接地
- (D) 将钢接地极更换为铜质接地极

► 答案: [A、B、C]

► 依据: 《水力发电厂接地设计技术导则》(DL/T 5091—1999) 6.1、6.2、6.3 标题。

► 分析: 有关水电厂接地、过电压保护与绝缘配合在 2012 年的题目里多次出现, 应引起重视。

(2) 下列电力设备的金属部件, 哪几项均应接地? (2012)

- (A) SF6 全封闭组合电器 (GIS) 与大电流封闭母线外壳
- (B) 电力设备传动装置
- (C) 互感器的二次绕组
- (D) 标称电压 220V 及以下的蓄电池室内的支架

► 答案: [A、B、C]

► 依据: 《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 第 4.1 条。

4.1 电气装置和设施的下列金属部分，均应接地：

- a) 电机、变压器和高压电器等的底座和外壳；
- b) 电气设备传动装置；
- c) 互感器的二次绕组；
- d) 发电机中性点柜外壳、发电机出线柜和封闭母线的外壳等；
- e) 气体绝缘全封闭组合电器（GIS）的接地端子；
- f) 配电、控制、保护用的屏（柜、箱）及操作台等的金属框架；
- g) 铠装控制电缆的外皮；
- h) 屋内外配电装置的金属架构和钢筋混凝土架构以及靠近带电部分的金属围栏和金属门；
- i) 电力电缆接线盒、终端盒的外壳，电缆的外皮，穿线的钢管和电缆桥架等；
- j) 装有避雷线的架空线路杆塔；
- k) 除沥青地面的居民区外，其他居民区内，不接地、消弧线圈接地和高电阻接地系统中无避雷线架空线路的金属杆塔和钢筋混凝土杆塔；
- l) 装在配电线路杆塔上的开关设备、电容器等电气设备；
- m) 箱式变电站的金属箱体。

分析：根据第 4.2 条规定标称电压 220V 及以下的蓄电池室内的支架可不接地。

(3) 变电所内，下列哪些电气设备和电力生产设施的金属部分可不接地？（2011）

- (A) 安装在已接地的金属架构上的电气设备的金属部分可不接地
- (B) 标称电压 220V 及以下的蓄电池室内的支架可不接地
- (C) 配电、控制、保护用的屏及操作台等的金属框架可不接地
- (D) 箱式变电站的金属箱体可不接地

答案：[A、B]

依据：《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）第 4.1 条、第 4.2 条。

4.2 电气设备和电力生产设施的下列金属部分可不接地：

- a) 在木质、沥青等不良导电地面的干燥房间内，交流标称电压 380V 及以下、直流标称电压 220V 及以下的电气设备外壳，但当维护人员可能同时触及电气设备外壳和接地物件时除外；
- b) 安装在配电屏、控制屏和配电装置上的电测量仪表、继电器和其他低压电器等的外壳，以及当发生绝缘损坏时在支持物上不会引起危险电压的绝缘子金属底座等；
- c) 安装在已接地的金属架构上的设备（应保证电气接触良好），如套管等；
- d) 标称电压 220V 及以下的蓄电池室内的支架；
- e) 由发电厂、变电所区域内引出的铁路轨道，但本标准 6.2.16 所列的场所除外。

(4) 一般情况下当三相短路电流大于单相短路电流时, 单相短路电流的计算成果常用于下列哪几种计算中? (2011)

- (A) 接地跨步电压计算
- (B) 有效接地和低电阻接地系统中, 发电厂和变电所电气装置保护接地的接地电阻计算
- (C) 电气设备热稳定计算
- (D) 电气设备动稳定计算

► 答案: [A、B]

► 依据: 《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 有关跨步电位差计算公式、接地电阻计算相关公式以及《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 短路电流计算相关内容。

(5) 下列变电所中接地设计的原则中, 哪些表述是正确的? (2011)

- (A) 配电装置构架上的避雷针 (含挂避雷线的构架) 的集中接地装置应与主接地网连接, 由连接点至主变压器接地点沿接地体的长度不应小于 15m
- (B) 变电所的接地装置应与线路的避雷线相连, 且有便于分开的连接点。当不允许避雷线直接和配电装置构架相连时, 避雷线接地装置应在地下与变电所的接地装置相连, 连接线埋在地中的长度不应小于 15m
- (C) 独立避雷针 (线) 宜设独立接地装置, 当有困难时, 该接地装置可与主接地网连接, 但避雷针与主接地网的地下连接点至 35kV 及以下设备与主接地网的地下连接点之间, 沿接地体的长度不得小于 10m
- (D) 当照明灯塔上装有避雷针时, 照明灯电源线必须采用直接埋入地下带金属外皮的电缆或穿入金属管的导线。电缆外皮或金属管埋地长度在 10m 以上, 才允许与 35kV 及以下电压配电装置的接地网及低压配电装置相连

► 答案: [A、B、D]

► 依据: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 第 6.2.15、6.2.4 条, 《交流电气装置的过电压保护与绝缘配合》(DL/T 620—1997) 7.1.6、7.1.10 条。

6.2.15 发电厂、变电所配电装置构架上避雷针 (含悬挂避雷线的架构) 的集中接地装置应与主接地网连接, 由连接点至变压器接地点沿接地极的长度不应小于 15m。

6.2.4 发电厂、变电所的接地装置应与线路的避雷线相连, 且有便于分开的连接点。当不允许避雷线直接和发电厂、变电所配电装置架构相连时, 发电厂、变电所接地网应在地下与避雷线的接地装置相连接, 连接线埋在地中的长度不应小于 15m。

由第 6.2.15 条, 可知 A 答案正确; 由第 6.2.4 条可知 B 答案正确。

7.1.6 独立避雷针 (线) 宜设独立的接地装置。在非高土壤电阻率地区, 其接地电阻不宜超过 10Ω 。当有困难时, 该接地装置可与主接地网连接, 但避雷针与主接地网

的地下连接点至 35kV 及以下设备与主接地网的地下连接点之间，沿接地体的长度不得小于 15m。独立避雷针不应设在人经常通行的地方，避雷针及其接地装置与道路或出入口等的距离不宜小于 3m，否则应采取均压措施，或铺设砾石或沥青地面，也可铺设混凝土地面。

7.1.10 火力发电厂烟囱附近的引风机及其电动机的机壳应与主接地网连接，并应装设集中接地装置，该接地装置宜与烟囱的接地装置分开。如不能分开，引风机的电源线应采用带金属外皮的电缆，电缆的金属外皮应与接地装置连接。机械通风冷却塔上电动机的电源线、装有避雷针和避雷线的架构上的照明灯电源线，均必须采用直接埋入地下的带金属外皮的电缆或穿入金属管的导线。电缆外皮或金属管埋地长度在 10m 以上，才允许与 35kV 及以下配电装置的接地网及低压配电装置相连接。严禁在装有避雷针、避雷线的构筑物上架设未采取保护措施的电话线、广播线和低压线。

由第 7.1.6 条可知 C 答案错误；由第 7.1.10 条可知 D 答案正确。

(6) 高压直流输电大地返回运行系统的接地极址宜选在 ()。(2011)

- (A) 远离城市和人口稠密的乡镇
- (B) 交通方便，没有洪水冲刷和淹没
- (C) 有条件时，优先考虑采用海洋接地极
- (D) 当用陆地接地极时，土壤电阻率宜在 $1000\Omega \cdot m$ 以下

答案：[A、B、C]

依据：根据《高压直流输电大地返回运行系统设计技术规定》(DL/T 5224—2005) 5.1.4、5.1.5 条。

5.1.4 接地极址宜选择在远离城市和人口稠密的乡镇，交通方便，没有洪水冲刷和淹没，接地极线路走线方便的空旷地带。由于海水电阻率比陆地土壤电阻率低很多，因此在有条件（如换流站与海岸的距离小于 50km 且海洋环境允许）的地方，一般宜优先考虑采用海洋或海岸接地极。

5.1.5 当采用陆地接地极时，要求接地极址具有宽阔而又导电性能良好的散流区，特别是在极址附近的土壤电阻率宜在 $100\Omega \cdot m$ 以下；土壤潮湿，但不宜有渍水；接地极埋设区地面应平坦，最大相对高度不宜大于 5m。

由第 5.1.4 条可知 A、B、C 答案正确；由 5.1.5 条可知当采用陆地接地极时，要求接地极址具有宽阔而又导电性能良好的散流区，特别是在极址附近的土壤电阻率宜在 $100\Omega \cdot m$ 以下，可知 D 答案错误。

(7) 下列哪些是属于 A 类电气装置的接地？(2008)

- (A) 电动机外壳接地
- (B) 铠装控制电缆的外皮
- (C) 发电机的中性点
- (D) 避雷针引下线

▶ 答案：[A、B、C]

▶ 依据：根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）第 4.1 条（见本章多项选择题第（2）题）。

（8）对 B 类电气装置，下类哪些可用作保护线？（2008）

- （A）多芯电缆的缆芯
- （B）固定的裸导线
- （C）煤气管道
- （D）导线的金属导管

▶ 答案：[A、B、D]

▶ 依据：《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）第 8.3.3 条。

8.3.3 保护线可由下列部分构成：

- a) 多芯电缆的芯线；
- b) 与带电导线一起在共用外护物内的绝缘线或裸导线；
- c) 固定的裸导线或绝缘线；
- d) 金属外皮，例如某些电缆的护套、屏蔽层及铠装；
- e) 导线的金属导管或其他金属外护物；
- f) 某些装置外导电部分。

另《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）第 8.3.7 条：“征得供排水部门同意的金属水管可作为保护线。煤气管道严禁用作保护线”，可见煤气管道严禁用作保护线。

205

（9）在有效接地系统中，当接地网的接地电阻不满足要求时，在符合下列哪些规定时接地网地电位升高可提高至 5kV？（2013）

- （A）接触电位差和跨步电位差满足要求
- （B）应采用扁铜与二次电缆屏蔽层并联敷设，扁铜应至少在两端就近与接地网连接
- （C）保护接地至厂用变的低压侧应采用 TT 系统
- （D）应采取防止转移电位引起危害的隔离措施

▶ 答案：[A、B、D]

▶ 依据：《交流电气装置的接地设计规范》（GB/T 50065—2011）第 4.2.1 条第 2 款和第 4.3.3 条。

3. 案例题

题 1：某风力发电场，一期装设单机容量 1800kW 的风力发电机组 27 台，每台经箱式变升压到 35kV，每台箱式变容量为 2000kVA，每 9 台箱变采用 1 回 35kV 集电线路送至风电场升压站 35kV 母线，再经升压变升至 110kV 接入系统，其电气主接线如图 8-1 所示。（2012）

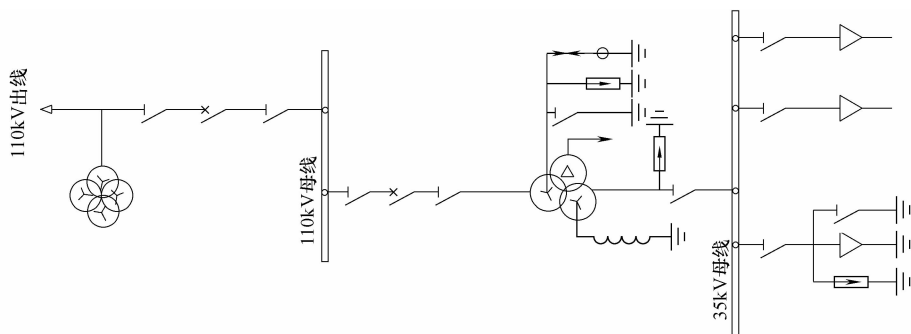


图 8-1 电气主接线

(1) 35kV 架空集电线路经 30m 三芯电缆接至 35kV 升压站母线，为防止雷电侵入波过电压，在电缆段两侧装有氧化锌避雷器，请判断下列图 8-2 中避雷器配置及保护接线正确的是（ ）。

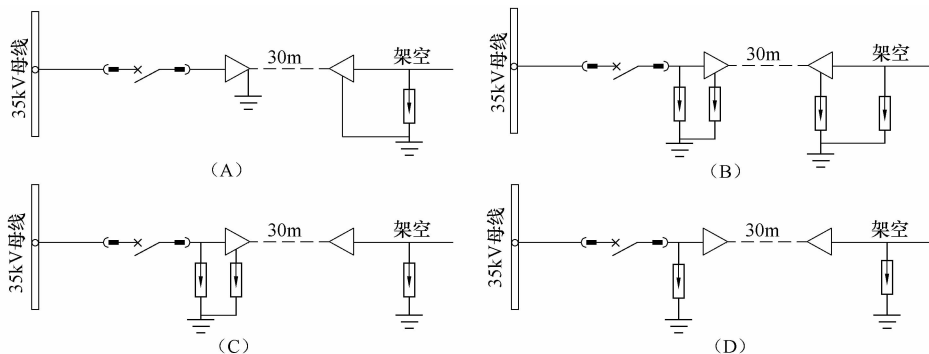


图 8-2 避雷器配置及保护接线

答案：[A]

解答过程：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 7.3.3 条和图 11。

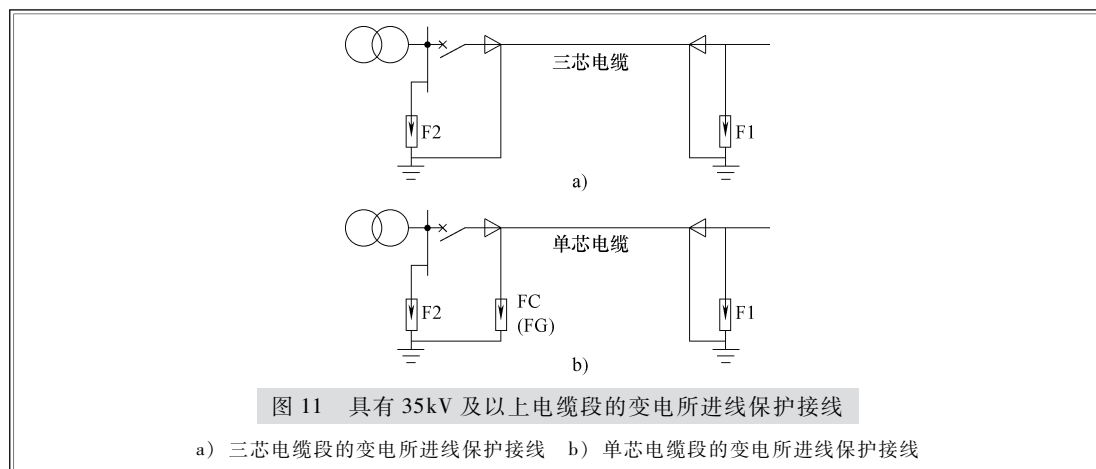
7.3.3 发电厂、变电所的 35kV 及以上电缆进线段，在电缆与架空线的连接处应装设阀式避雷器，其接地端应与电缆金属外皮连接。对三芯电缆，末端的金属外皮应直接接地 [图 11 (a)]；对单芯电缆，应经金属氧化物电缆护层保护器（FC）或保护间隙（FG）接地 [图 11 (b)]。

如电缆长度不超过 50m 或虽超过 50m，但经校验，装一组阀式避雷器即能符合保护要求，图 11 中可只装 F1 或 F2。

如电缆长度超过 50m，且断路器在雷季可能经常断路运行，应在电缆末端装设排气式避雷器或阀式避雷器。

连接电缆段的 1km 架空线路应架设避雷线。

全线电缆—变压器组接线的变电所内是否需装设阀式避雷器，应视电缆另一端有无雷电过电压波侵入的可能，经校验确定。



(2) 主接线图中, 110kV 变压器中性点避雷器的持续运行电压和额定电压应为下列何值?

- (A) 56.7kV 71.82kV (B) 72.75kV 90.72kV
(C) 74.34kV 94.5kV (D) 80.64kV 90.72kV

答案: [A]

解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 表 3, 对 110kV 有效接地方式, 中性点持续运行电压和额定电压分别为 $0.45U_m = 0.45 \times 126\text{kV} = 56.7\text{kV}$ 和 $0.57U_m = 0.57 \times 126\text{kV} = 71.82\text{kV}$ 。

207

(3) 已知变压器中性点雷电冲击全波耐受电压为 250kV, 中性点避雷器标准放电电压下的残压取下列何值更为合理?

- (A) 175kV (B) 180kV (C) 185kV (D) 187.5kV

答案: [A]

解答过程: 根据《导体和电器设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 20.1.5 条。

20.1.5 阀式避雷器标称放电电流下的残压, 不应大于被保护电器设备 (旋转电机除外) 标准雷电冲击全波耐受电压 (BIL) 的 71%。

本题中已知变压器中性点雷电冲击全波耐受电压为 250kV, 可得残压不应大于 $250 \times 71\% \text{ kV} = 177.5\text{kV}$ 。

(4) 已知风电场 110kV 变电站 110kV 母线最大短路电流 $I'' = I_{z1/2} = I_{z1} = 30\text{kA}$, 热稳定时间 $t = 2\text{s}$, 导线热稳定系数为 87, 请问短路热稳定条件校验 110kV 母线截面应选择下列何种规格?

- (A) LGJ 300/30 (B) LGJ 400/35 (C) LGJ 500/35 (D) LGJ 600/35

答案: [C]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (4-46)、式 (8-3) 可得

$$\therefore Q_d = \frac{I''^2 + 10I_{zl/2}''^2 + I_{zl}^2}{12} t = I''^2 t = 30^2 \times 2 \times 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{s} = 1800 \times 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{s}$$

$$\therefore S \geq \frac{\sqrt{Q_d}}{C} = \frac{\sqrt{1800 \times 10^6}}{87} \text{ mm}^2 = 487.7 \text{ mm}^2$$

(5) 已知每一回 35kV 集电线路路上接有 9 台 2000kVA 的箱式变压器，其集电线路短路时的热效应为 $1067 \text{ kA}^2 \cdot \text{s}$ ，铜芯电缆的热稳定系数为 115，电缆在土壤中敷设时的综合校正系数为 1，请判断下列哪种规格的电缆既满足载流量又满足热稳定要求？

三芯交联聚乙烯绝缘铜芯电缆在空气中（25℃）长期允许载流量

电缆导体截面/ mm^2	3 × 95	3 × 120	3 × 100	3 × 185
长期允许载流量/A	215	234	260	320

注：缆芯工作温度在 80℃，周围环境温度为 25℃。

(A) 3 × 95 (B) 3 × 120 (C) 3 × 100 (D) 3 × 185

答案：[D]

解答过程：1) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (8-3)，满足热稳定要求的截面：

$$S \geq \frac{\sqrt{Q_d}}{C} = \frac{\sqrt{1067 \times 10^6}}{115} \text{ mm}^2 = 284 \text{ mm}^2$$

2) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 6-3 可得变压器回路的工作电流为变压器额定电流的 1.05 倍，故 9 台 2000kV 的箱式变压器的额定电流为

$$I_g = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{9 \times 1.05 \times 2000}{\sqrt{3} \times 35} \text{ A} = 311.77 \text{ A}$$

再乘以电缆在土壤中敷设时的综合校正系数为 1，可得电缆允许电流为

$$311.77 \times 1 \text{ A} = 311.77 \text{ A}。$$

3) 既满足载流量又满足热稳定要求为 D 答案。

题 2：某 220kV 变电所，总占地面积为 12000 m^2 （其中接地网的面积为 10000 m^2 ），220kV 系统为有效接地系统，土壤电阻率为 $100 \Omega \cdot \text{m}$ ，接地短路电流为 10 kA ，接地故障电流持续时间为 2s，工程中采用钢接地线作为全所主接地网及电气设备的接地（钢材的热稳定系数取 70）。试根据上述条件计算下列各题。（2010）

(1) 220kV 系统发生单相接地时，其接地装置的接触电位差和跨步电位差不应超过下列哪组数据？

(A) 55V、70V (B) 110V、140V (C) 135V、173V (D) 191V、244V

答案：[C]

解答过程：根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）第 3.4 条 a) 款（见本章单项选择题第 (1) 题）的规定可知，110kV 及以上有效接地系统发生单相接地或同点两相接地时，发电厂、变电所接地装置的接触电位差和跨步电位差不应超过下列数值：

$$U_t = \frac{174 + 0.17\rho_f}{\sqrt{t}} = \frac{174 + 0.17 \times 100}{\sqrt{2}} \text{ V} = 135 \text{ V}$$

$$U_s = \frac{174 + 0.7\rho_f}{\sqrt{t}} = \frac{174 + 0.7 \times 100}{\sqrt{2}} \text{V} = 173 \text{V}$$

(2) 在不考虑腐蚀的情况下,按热稳定计算电气设备的接地线选择下列哪种规格是较合适的?(短路的等效持续时间为 1.2s)

- (A) $40 \times 4 \text{mm}^2$ (B) $40 \times 6 \text{mm}^2$ (C) $50 \times 4 \text{mm}^2$ (D) $50 \times 6 \text{mm}^2$

答案:[A]

解答过程:根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997)附录 C 式(C1)(见本章单项选择题第(9)题)。根据热稳定条件,未考虑腐蚀时,接地线的最小截面应符合下式要求:

$$S_g \geq \frac{I_g}{C} \sqrt{t_e} = \frac{10000}{70} \times \sqrt{1.2} \text{mm}^2 = 156.5 \text{mm}^2$$

故选 A 为正确答案。

(3) 计算一般情况下,变电所电气装置保护接地的接地电阻不大于下列哪项数值?

- (A) 0.2Ω (B) 0.5Ω (C) 1Ω (D) 2Ω

答案:[A]

解答过程:根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997)第 5.1.1 条 a) 款。

5.1.1 发电厂、变电所电气装置保护接地的接地电阻要求如下。

a) 有效接地和低电阻接地系统中发电厂、变电所电气装置保护接地的接地电阻应符合下列要求:

1) 一般情况下,接地装置的接地电阻应符合下式要求

$$R \leq \frac{2000}{I} \quad (5)$$

式中 R ——考虑到季节变化的最大接地电阻, Ω ;

I ——计算用的流经接地装置的入地短路电流, A。

公式(5)中计算用流经接地装置的入地短路电流,采用在接地装置内、外短路时,经接地装置流入地中的最大短路电流对称分量最大值,该电流应按 5~10 年发展后的系统最大运行方式确定,并应考虑系统中各接地中性点间的短路电流分配,以及避雷线中分走的接地短路电流。

对于本题,根据式(5)有

$$R \leq \frac{2000}{I} = \frac{2000}{10000} \Omega = 0.2 \Omega$$

故选 A 为正确答案。

(4) 采用简易计算方法,计算该变电所采用复合式接地网,其接地电阻为()。

- (A) 0.2Ω (B) 0.5Ω (C) 1Ω (D) 4Ω

答案:[B]

解答过程：根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）附录 A4 及表 A2。

A4 人工接地极工频接地电阻的简易计算，可采用表 A2 所列公式。

表 A2 人工接地极工频接地电阻（Ω）简易计算式

接地极型式	简易计算式
垂直式	$R \approx 0.3 \rho$
单根水平式	$R \approx 0.03 \rho$
复合式（接地网）	$R \approx 0.5 \frac{\rho}{\sqrt{S}} = 0.28 \frac{\rho}{r}$ 或 $R \approx \frac{\sqrt{\pi}}{4} \times \frac{\rho}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{L} = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$

注：1. 垂直式为长度 3m 左右的接地极；
2. 单根水平式为长度 60m 左右的接地极；
3. 复合式中，S 为大于 100m² 的闭合接地网的面积；r 为与接地网面积 S 等值的圆的半径，即等效半径，m。

根据表 A2，复合式接地网接地电阻的简易计算式为

$$R \approx 0.5 \frac{\rho}{\sqrt{S}} = 0.5 \times \frac{100}{\sqrt{10000}} \Omega = 0.5 \Omega$$

故选 B 为正确答案。

(5) 如变电所采用独立避雷针，作为直接防雷保护装置其接地电阻值不大于（ ）。

- (A) 10Ω (B) 15Ω (C) 20Ω (D) 25Ω

答案：[A]

解答过程：根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）第 5.1.2 条。

5.1.2 发电厂、变电所电气装置雷电保护接地的接地电阻

a) 独立避雷针（含悬挂独立避雷线的架构）的接地电阻。在土壤电阻率不大于 500Ω·m 的地区小应大于 10Ω；在高土壤电阻率地区接地电阻应符合 DL/T 620—1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》的要求。

b) 变压器门型构上避雷针、线的接地电阻应符合 DL/T 620—1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》的要求。

本题采用独立避雷针，土壤电阻率为 100Ω·m，根据第 a) 款，其接地电阻不应大于 10Ω。

题 3：220kV 屋外变，海拔 1000m 以下，土壤电阻率 $\rho = 200 \Omega \cdot m$ ，设水平接地极为主人工接地网，扁钢，均压带等距布置。（2009）

(1) 最大运行方式下接地最大短路电流为 10kA，站内接地短路入地电流为 4.5kA，站外接地短路入地电流为 0.9kA，则该站接地电阻应不大于（ ）。

- (A) 0.2Ω (B) 0.44Ω (C) 0.5Ω (D) 2.2Ω

答案：[B]

解答过程：根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）第 5.1.1 条（见本章案例题 2 第（3）小题），一般情况下，接地装置的接地电阻应符合下式要求：

$$R \leq \frac{2000}{I} = \frac{2000}{4600} \Omega = 0.44 \Omega$$

式中, I 为计算用流经接地装置的入地短路电流, 采用在接地装置内外短路时, 经接地装置流入地中的最大短路电流对称分量最大值。

本题中, 站内接地短路入地电流为 4.5kA , 站外接地短路入地电流为 0.9kA , 则经接地装置流入地中的短路电流最大值为 $(10 - 4.5 - 0.9)\text{kA} = 4.6\text{kA}$ 。故本题应该选 B 为正确答案。

► 分析: 接地部分的接地电阻、接触电位差、跨步电位差等内容, 为常考内容。本题的关键在于明白 I 为流经接地装置的短路电流。

(2) 若该站接地短路电流持续时间取 0.4s , 接触电位差允许值为 ()。

- (A) 60V (B) 329V (C) 496.5V (D) 520V

► 答案: [B]

► 解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 第 3.4 条 a 款 (见本章单项选择题第 (1) 题) 以及式 (1) 可得

$$U_t = \frac{174 + 0.17\rho_f}{\sqrt{t}} = \frac{174 + 0.17 \times 200}{\sqrt{0.4}} \text{V} \approx 329\text{V}$$

(3) 站内单相接地入地电流为 4kA , 网最大接触电位差系数取 0.15 , 接地电阻为 0.35Ω , 则网最大接触电位差为 ()。

- (A) 210V (B) 300V (C) 600V (D) 1400V

► 答案: [A]

► 解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 附录 B 式 (B3)、式 (B4) (见本章单项选择题第 (6) 题) 可得

$$U_g = IR = 4000 \times 0.35\text{V} = 1400\text{V}$$

$$U_{\max} = K_{\text{tmax}} U_g = 0.15 \times 1400\text{V} = 210\text{V}$$

(4) 若该站接地短路电流持续时间取 0.4s , 跨步电压允许值为 ()。

- (A) 90V (B) 329V (C) 496.5V (D) 785V

► 答案: [C]

► 解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 第 3.4 条及式 (1) (见本章单项选择题第 (1) 题) 可得

$$U_s = \frac{174 + 0.7\rho_f}{\sqrt{t}} = \frac{174 + 0.7 \times 200}{\sqrt{0.4}} \text{V} = 496.5\text{V}$$

(5) 站内单相接地入地电流为 4kA , 最大跨步电位差系数取 0.24 , 接地电阻 0.35Ω , 则最大跨步电位差为 ()。

- (A) 336V (B) 480V (C) 960V (D) 1400V

► 答案: [A]

► 解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 附录 B 式 (B3)、式

(B7) (见本章单项选择题第(6)题) 有

$$U_g = IR = 4000 \times 0.35 \text{ V} = 1400 \text{ V}$$

$$U_{\text{smax}} = K_{\text{smax}} U_g = 0.24 \times 1400 \text{ V} = 336 \text{ V}$$

题 4: 某发电厂, 处 IV 级污染区, 220kV 升压站, GIS。(2009)

(1) 耐张绝缘子串选 XPW-160 (几何爬电 460mm), 有效率为 1, 求片数。

- (A) 16 片 (B) 17 片 (C) 18 片 (D) 19 片

答案: [D]

解答过程: 1) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 附录 C 表 C2 可得, IV 级污秽区变电所的爬电距离为 $\lambda = 3.10 \text{ cm/kV}$ 。

2) 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 10.2.1 条或《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 6-7 节第四部分悬式绝缘子片数选择, 按照工频电压和泄漏比距选择绝缘子片数, 故有

$$m \geq \frac{\lambda U_m}{K_e L_0} = \frac{3.1 \times 252}{1 \times 46} = 16.98$$

3) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 21.0.9 条可知选择悬式绝缘子应考虑绝缘子的老化、每串绝缘子要预留的零值绝缘子。对 35 ~ 220kV 耐张绝缘子串预留两片零值绝缘子, 故总的绝缘子片数应为 18.98 片, 故本题选 D。

212

21.0.9 悬式绝缘子型式及每串的片数, 可按下列条件选择:

1 按系统最高电压和爬电比距选择

绝缘子串的有效爬电比距不得小于附录 C 所列数值。在空气污秽地区宜采用防污型绝缘子, 并与其他电器采用相同的防污措施。

2 按内过电压选择

220kV 及以下电压, 按内过电压倍数和绝缘子串的工频湿闪电压选择。

330kV 及以上电压, 按避雷器的操作过电压保护水平和绝缘子串正极性操作冲击 50% 放电电压选择。

3. 按大气过电压选择

由避雷器冲击保护水平确定, 且不低于隔离开关和支柱绝缘子的相应值。

选择悬式绝缘子应考虑绝缘子的老化, 每串绝缘子要预留的零值绝缘子为:

(35 ~ 220)kV	耐张串 2 片; 悬垂串 1 片;
330kV 及以上	耐张串 (2 ~ 3) 片; 悬垂片 (1 ~ 2) 片。

(2) 220kV GIS 的接地短路电流为 20kA, GIS 基座下有两条地引下线与主接地连接, 在热稳定校验时, 应该取热稳定电流为 ()。

- (A) 20kA (B) 14kA (C) 10kA (D) 7kA

► 答案: [B]

► 解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 第 6.2.14 条 b 款规定可知, 对于只有两条或四条接地线, 其截面热稳定的校验电流分别取全部接地(短路或故障)电流的 70% 和 35%。本题中有两条引向室内环形母线的接地线, 故有 $20\text{kA} \times 70\% = 14\text{kA}$, 故选 B 为正确答案。

(3) 某一接地引下线短路电流为 **15kA**, 时间为 **2s**, 扁钢, 热稳定截面应大于 ()。

- (A) 101mm^2 (B) 176.8mm^2 (C) 212.1mm^2 (D) 301.3mm^2

► 答案: [D]

► 解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 附录 C (见本章单项选择题第 (9) 题) 接地装置的热稳定校验有

$$S_g \geq I_g \times \frac{\sqrt{t_c}}{C} = 15000 \times \frac{\sqrt{2}}{70} \text{mm}^2 = 303.04 \text{mm}^2$$

式中, 热稳定系数 $C=70$ 可查表 C1 得到。故选 D 为正确答案。

(4) 主变套管、GIS 套管对地爬电距离应大于 ()。

- (A) 7812mm (B) 6820mm (C) 6300mm (D) 5500mm

► 答案: [A]

► 解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 附录 C 表 C2 可得, IV 级污秽区变电所的爬电距离为 $\lambda = 3.10\text{cm/kV}$ 。按系统最高工作电压计算爬电距离:

$$L = \lambda U_m = 3.10 \times 252\text{cm} = 781.2\text{cm} = 7812\text{mm}$$

213

题 5: 某 **220kV** 配电装置内的接地网, 是以水平接地极为主, 垂直接地极为辅, 且边缘闭合的复合接地网, 已知接地网的总面积为 **7600m²**, 测得平均土壤电阻率为 **68Ω·m**, 系统最大运行方式下的单相接地短路电流为 **25kA**, 接地短路电流持续时间为 **2s**, 据以上条件解答下列问题。(2008)

(1) 计算 **220kV** 配电装置内的接触电位差不应超过下列何值?

- (A) 131.2V (B) 110.8V (C) 95V (D) 92.78V

► 答案: [A]

► 解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 第 3.4 条 a 款 (见本章单项选择题第 (1) 题) 规定可知, 110kV 及以上有效接地系统和 6~35kV 低电阻接地系统, 发生单相接地或同点两相接地时, 发电厂、变电所接地装置的接触电位差不超过下列数值:

$$U_t = \frac{174 + 0.17\rho_t}{\sqrt{t}} = \frac{174 + 0.17 \times 68}{\sqrt{2}} \text{V} = 131.2\text{V}$$

(2) 计算 **220kV** 配电装置内的跨步电位差不应超过下列何值?

- (A) 113.4V (B) 115V (C) 131.2V (D) 156.7V

答案: [D]

解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 第 3.4 条 a 款 (见本章单项选择题第 (1) 题) 规定可知 110kV 及以上有效接地系统和 6~35kV 低电阻接地系统, 发生单相接地或同点两相接地时, 发电厂、变电所接地装置的跨步电位差不超过下列数值:

$$U_s = \frac{174 + 0.7\rho_t}{\sqrt{t}} = \frac{174 + 0.7 \times 68}{\sqrt{2}} \text{V} = 156.7 \text{V}$$

(3) 假设 220kV 配电装置内的复合接地网采用镀锌扁钢, 其热稳定系数为 70, 保护动作时间和断路器开断时间之和为 1s, 计算热稳定选择的主接地网规格不应小于下列哪种?

- (A) 50×6 (B) 50×8 (C) 40×6 (D) 40×8

答案: [B]

解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 附录 C 第 C1 条 (见本章单项选择题第 (9) 题) 可知, 根据热稳定条件, 未考虑腐蚀时, 接地线的最小截面应符合下式要求:

$$S_g \geq \frac{I_g}{C} \sqrt{t_e} = \frac{25000}{70} \times \sqrt{1} \text{mm}^2 = 357.14 \text{mm}^2$$

(4) 计算 220kV 配电装置内复合接地网接地电阻为下列何值 (按简易计算式算)?

- (A) 10Ω (B) 5Ω (C) 0.39Ω (D) 0.5Ω

答案: [C]

解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 附录 A 表 A2 (见本章例题题 2 第 (4) 小题) 可知复合式接地网工频接地电阻简易计算式为

$$R \approx 0.5 \frac{\rho}{\sqrt{S}} = 0.5 \times \frac{68}{\sqrt{7600}} \Omega = 0.39 \Omega$$

(5) 假设 220kV 变压器中性点直接接地运行, 流经主变压器中性点的最大接地短路电流值为 1kA, 厂内短路时避雷线的工频分流系数为 0.5, 厂外短路时避雷线的工频分流系数为 0.1, 计算 220kV 配电装置保护接地的接地电阻应为下列何值?

- (A) 5Ω (B) 0.5Ω (C) 0.39Ω (D) 0.167Ω

答案: [D]

解答过程: 1) 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 附录 B 第 B1 条可知, 厂或所内和厂或所外发生接地短路时, 流经接地装置的电流可分别按下式计算, 且计算用入地短路电流取两式中较大的 I 值:

$$I = (I_{\max} - I_n)(1 - K_{e1}) = (25 - 1) \times (1 - 0.5) \text{kA} = 12 \text{kA}$$

$$I = I_n(1 - K_{e2}) = 1 \times (1 - 0.1) \text{kA} = 0.9 \text{kA}$$

附录 B (标准的附录) 发电厂、变电所经接地装置的入地短路电流及电位计算

B1 计算用入地短路电流的计算

厂或所内和厂或所外发生接地短路时, 流经接地装置的电流可分别按下式计算

$$I = (I_{\max} - I_n)(1 - K_{e1}) \quad (\text{B1})$$

$$I = I_n(1 - K_{e2}) \quad (\text{B2})$$

式中:

I ——入地短路电流, A;

$I_{\max}$ ——接地短路时的最大接地短路电流, A;

I_n ——发生最大接地短路电流时, 流经发电厂变电所接地中性点的最大接地短路电流, A;

K_{e1} 、 K_{e2} ——分别为厂或所内和厂或所外短路时, 避雷线的工频分流系数。

计算用入地短路电流取两式中较大的 I 值。

2) 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 第 5.1.1 条及式 (5) (见本章案例例题 2 第 (3) 小题) 可知一般情况下, 接地装置的接地电阻应符合下式要求:

$$R \leq \frac{2000}{I} = \frac{2000}{12000} \Omega = 0.167 \Omega$$

题 6: 某 110kV 变电站接地网范围为 120m × 150m, 由 15m × 15m 正方形网络组成, 接地体为 60 × 8mm² 截面的镀锌扁铁, 埋深 0.8m。已知土壤电阻率为 $\rho = 300 \Omega \cdot \text{m}$, 请回答下列问题。(供配电 2008)

215

(1) 计算该接地网的工频电阻最接近下列哪项数值?

- (A) 1.044Ω (B) 1.057Ω (C) 1.515Ω (D) 0.367Ω

答案: [A]

解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 附录 A 的式 (A3) 有

$$a_1 = \left(3 \ln \frac{L_0}{\sqrt{S}} - 0.2 \right) \frac{\sqrt{S}}{L_0} = \left(3 \times \ln \frac{540}{\sqrt{120 \times 150}} - 0.2 \right) \frac{\sqrt{120 \times 150}}{540} = 0.988222$$

$$B = \frac{1}{1 + 4.6 \frac{h}{\sqrt{S}}} = \frac{1}{1 + 4.6 \times \frac{0.8}{\sqrt{18000}}} = 0.9733$$

$$\begin{aligned} R_e &= 0.213 \frac{\rho}{\sqrt{S}} (1 + B) + \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{S}{9hd} - 5B \right) \\ &= \left[0.213 \times \frac{300}{\sqrt{18000}} (1 + 0.9733) + \frac{300}{2\pi \times 2670} \left(\ln \frac{18000}{9 \times 0.8 \times 0.03} - 5 \times 0.9733 \right) \right] \Omega \\ &= (0.93985 + 0.11565) \Omega = 1.0555 \Omega \end{aligned}$$

$$R_n = a_1 R_e = 0.988222 \times 1.0555 \Omega = 1.043 \Omega$$

分析: 本题答案要求精确到小数点后三位, 不能用表 A2 中的简化公式进行计算。

(2) 若接地装置的接地电阻为 1Ω ， 110kV 有效接地系统计算入地短路电流为 10kA ，接地短路电流持续时间为 0.5s ，最大接触电位差系数 $K_{\text{tmax}} = 0.206$ ，计算最大接触电位差数值并判断下列哪项是正确的？

- (A) 7940V ，不满足要求 (B) 2060V ，满足要求
(C) 2060V ，不满足要求 (D) 318.2V ，满足要求

答案：[C]

解答过程：根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）和附录 B 式（B3）、式（B4）（见本章单项选择题第（6）题）有

$$U_g = IR = 10000 \times 1\text{V} = 10000\text{V}$$

$$U_{\text{max}} = K_{\text{tmax}} U_g = 0.206 \times 10000\text{V} = 2060\text{V}$$

根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）第 3.4 条 a) 款可知 110kV 及以上有效接地系统最大接触电位差不应超过下列数值：

$$U_s = \frac{174 + 0.17\rho}{\sqrt{t}} = \frac{174 + 0.17 \times 300}{\sqrt{0.5}}\text{V} = 318.15\text{V}$$

故不满足要求。

(3) 若接地装置的接地电阻为 1Ω ， 110kV 有效接地系统计算入地短路电流为 10kA ，接地短路电流持续时间为 0.5s ，最大跨步电位差系数 $K_{\text{smax}} = 0.126$ ，计算最大跨步电位差数值并判断下列哪项是正确的？

- (A) 8740V ，不满足要求 (B) 1260V ，满足要求
(C) 1260V ，不满足要求 (D) 543.1V ，满足要求

答案：[C]

解答过程：根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）附录 B 的式（B3）、式（B7）（见本章单项选择题第（6）题）有

$$U_g = IR = 10000 \times 1\text{V} = 10000\text{V}$$

$$U_{\text{max}} = K_{\text{tmax}} U_g = 0.126 \times 10000\text{V} = 1260\text{V}$$

根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）式（2）（见本章单项选择题第（1）题）， 110kV 及以上有效接地系统最大跨步电位差不应超过下列数值：

$$U_t = \frac{174 + 0.7\rho}{\sqrt{t}} = \frac{174 + 0.7 \times 300}{\sqrt{0.5}}\text{V} = 399.4\text{V}$$

故不满足要求。

题 7：某厂根据负荷发展需要，拟新建一座 $110/10\text{kV}$ 变电站，用于厂区内 10kV 负荷的供电，变电站基本情况如下：（供配电 2009）

- 1) 电源取自地区 110kV 电网（无限大容量）；

2) 主变采用两台容量为 31.5MVA 三相双绕组自冷有载调压变压器，户外布置，变压器高低压侧均采用架空套管进线；

3) 每台变压器低压侧配置两组 10kV 并联电容器，每组容量 2400kvar；采用单星形接线，配 12% 干式空心电抗器，选用无重燃的真空断路器进行投切；

4) 110kV 设备采用 GIS 户外布置，10kV 设备采用中置柜户内双列布置；

5) 变电站接地网水平接地极采用 F20 热镀锌圆钢，垂直接地极采用 L50 × 50 × 5 热镀锌角钢，接地网埋深 0.8m，按图 8-3 敷设。

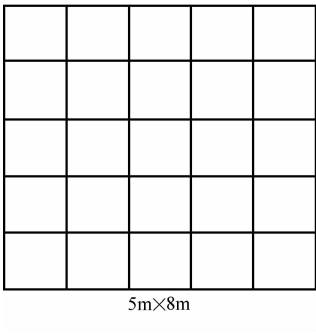


图 8-3 敷设图

请回答下列问题：

(1) 在本站过电压保护中，下列哪一项无须采取限制措施？

- (A) 工频过电压 (B) 谐振过电压
(C) 线路合闸和重合闸过电压 (D) 雷电过电压

答案：[C]

解答过程：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 4.2.1 条第 D 款可知，范围 I 的线路合闸和重合闸过电压一般不超过 3.0p. u.，通常无须采取限制措施。

(2) 当需要限制电容器极间和电源侧对地过电压时，10kV 并联电容器组过电压可采用图 8-4 ~ 图 8-7 中哪一个图的接线方式？

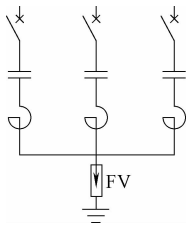


图 8-4

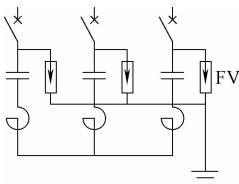


图 8-5

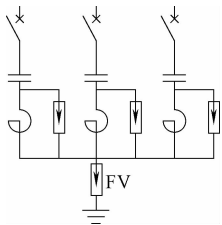


图 8-6

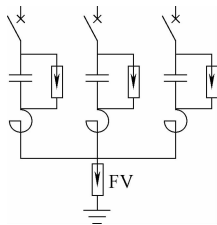


图 8-7

(A) 图 8-4 (B) 图 8-5 (C) 图 8-6 (D) 图 8-7

▶ 答案: [B]

▶ 解答过程: 《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 4.2.8 条。

4.2.8 并联电容器装置应装设抑制操作过电压的避雷器, 避雷器的连接方式应符合下列规定:

- 1 避雷器连接应采用相对地方式 (图 4.2.8)。
- 2 避雷器接入位置应紧靠电容器组的电源侧。
- 3 不得采用三台避雷器星形连接后经第四台避雷器接地的接线方式。

对于本题, 根据第 1) 款可以排除图 8-4、图 8-7 的接线方式, 根据第 2、3 款可以排除 8-6 的接线方式, 根据第 1 款可知 8-5 图为正确接线形式。

(3) 变电站采用独立避雷针进行直击雷保护, 下列有关独立避雷针设计的表述哪一项是不正确的?

(A) 独立避雷针宜设独立的接地装置。在非高土壤电阻率地区, 其接地电阻不应超过 10Ω

(B) 独立避雷针宜设独立的接地装置, 接地电阻难以满足要求时, 该接地装置可与主接地网连接, 但避雷针与主接地网的地下连接点至 35kV 及以下设备与主接地网的地下连接点之间, 沿接地体的长度不得小于 10m

(C) 独立避雷针不应设在人经常通行的地方, 避雷针及其接地装置与道路或出入口等的距离不宜小于 3m , 否则应采取均压措施, 或铺设砾石或沥青地面, 也可铺设混凝土地面

(D) 110kV 及以上的配电装置, 一般将避雷针装在配电装置的架构或房顶上, 但在土壤电阻率大于 $1000\Omega \cdot \text{m}$ 的地区, 宜装设独立避雷针。否则, 应通过验算, 采取降低接地电阻或加强绝缘等措施

▶ 答案: [B]

▶ 解答过程: 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 7.1.6 条。

7.1.6 独立避雷针宜设独立的接地装置, 接地电阻难以满足要求时, 该接地装置可与主接地网连接, 但避雷针与主接地网的地下连接点至 35kV 及以下设备与主接地网的地下连接点之间, 沿接地体的长度不得小于 15m 。

(4) 变电站场地均匀土壤电阻率为 $50\Omega \cdot \text{m}$, 则本站复合接地网的接地电阻为哪项? (要求精确计算, 小数点保留 4 位)

(A) 0.5886Ω (B) 0.5826Ω (C) 0.4741Ω (D) 0.4692Ω

▶ 答案: [B]

▶ 解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 附录 A 的式 (A3) 有

$$L_0 = 5 \times 8 \times 4 \text{ m} = 160 \text{ m}$$

$$L = 40 \times 12 \text{ m} = 480 \text{ m}$$

$$S = 40 \times 40 \text{ m}^2 = 1600 \text{ m}^2$$

$$B = \frac{1}{1 + 4.6 \frac{h}{\sqrt{S}}} = \frac{1}{1 + 4.6 \times \frac{0.8}{\sqrt{1600}}} = 0.9158$$

$$R_e = 0.213 \frac{\rho}{\sqrt{S}} (1 + B) + \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{S}{9hd} - 5B \right)$$

$$= \left[0.213 \frac{50}{\sqrt{1600}} (1 + 0.9158) + \frac{50}{2\pi \times 480} \left(\ln \frac{1600}{9 \times 0.8 \times 0.02} - 5 \times 0.9158 \right) \right] \Omega = 0.58864 \Omega$$

$$a_1 = \left(3 \ln \frac{L_0}{\sqrt{S}} - 0.2 \right) \frac{\sqrt{S}}{L_0} = \left(3 \ln \frac{160}{40} - 0.2 \right) \times \frac{40}{160} = 0.9897$$

$$R_n = a_1 R_e = 0.9897 \times 0.58864 \Omega = 0.5826 \Omega$$

► 分析：该类题在供配电专业考试上曾多次出现，发输变电还没考过，应引起重视。 L_0 为接地网外缘边线总长度， L 为水平接地极总长度，先要把这两个量求出。接着依次计算 B 、 R_e 和 a_1 ，最后求出 R_n 。

题 8：某 110kV 变电站采用全户内布置，站内有两台主变压器，110kV 采用中性点直接接地方式。变电站内仅设一座综合建筑物，建筑物长 54m、宽 20m、高 18m，全站围墙长 73m、宽 40m。变电站平面布置如图 8-8 所示，请回答下列问题。（供配电 2010）

219

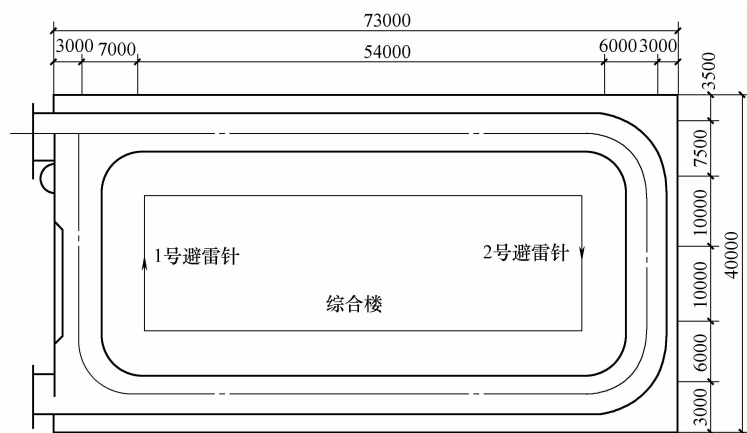


图 8-8 变电站平面布置

(1) 该变电站 110kV 配电装置保护接地的接地电阻 R 应满足下列哪一项？并说明依据和理由。（式中， I 为计算用的流经接地装置的入地短路电流）

- (A) $R \leq 2000/I$ (B) $R \leq 250/I$ (C) $R \leq 120/I$ (D) $R \leq 50/I$

► 答案：[A]

解答过程：根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）第 5.1.1 条式（5）（见本章例题题 2 第（3）小题）。

(2) 该变电站接地网拟采用以水平接地极为主 73×40 （长×宽）边缘闭合的复合接地网，水平接地极采用 $\phi 20$ 的热镀锌圆钢。垂直接地极采用 $L50 \times 50 \times 5$ 的热镀锌角钢，敷设深度为 0.8m ，站区内土壤电阻率约为 $100\Omega \cdot \text{m}$ 。请采用《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）附录中式（A3）的方法计算变电站接地网的接地电阻为下列哪项数值。

- (A) 0.93Ω (B) 0.90Ω (C) 0.81Ω (D) 0.73Ω

答案：[C]

解答过程：《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）附录 A 的式（A3）。

$$L_0 = (73 + 40 + 73 + 40)\text{m} = 226\text{m}$$

$$L = (73 \times 9 + 40 \times 16)\text{m} = 1297\text{m}$$

$$S = 73 \times 40\text{m}^2 = 2920\text{m}^2$$

$$B = \frac{1}{1 + 4.6 \frac{h}{\sqrt{S}}} = \frac{1}{1 + 4.6 \times \frac{0.8}{\sqrt{2920}}} = 0.936$$

$$\begin{aligned} R_g &= 0.213 \frac{\rho}{\sqrt{S}} (1 + B) + \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{S}{9hd} - 5B \right) \\ &= \left[0.213 \times \frac{100}{\sqrt{2920}} \times (1 + 0.936) + \frac{100}{2\pi \times 1297} \times \left(\ln \frac{2920}{9 \times 0.8 \times 0.02} - 5 \times 0.936 \right) \right] \Omega \\ &= (0.76364 + 0.064) \Omega \\ &= 0.82764 \Omega \end{aligned}$$

$$a_1 = \left(3 \ln \frac{L_0}{\sqrt{S}} - 0.2 \right) \frac{\sqrt{S}}{L_0} = \left(3 \ln \frac{226}{54} - 0.2 \right) \times \frac{54}{226} = 0.9784$$

$$R_n = a_1 R_g = 0.9784 \times 0.82764 \Omega = 0.8097 \Omega \approx 0.81 \Omega$$

分析：本题和题 6 中的第（4）小题的计算方法完全一样。

(3) 假定该变电站 110kV 单相接地短路电流为 15kA ，主保护动作时间为 30ms ，断路器开断时间为 60ms ，第一级后备保护的动作为 0.5s 。问根据热稳定条件，不考虑腐蚀时，变电站接地线的最小截面应不小于下列哪项？（变电站按配有 1 套速动保护、近后备等保护计算）

- (A) 160.4mm^2 (B) 93.5mm^2 (C) 64.3mm^2 (D) 37.5mm^2

答案：[A]

解答过程：根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）附录 C 的式（C3）（见本章单选题第（9）题）：

$$t_e \geq t_0 + t_r = (0.06 + 0.5)\text{s} = 0.56\text{s}$$

式中， t_0 为断路器开断时间； t_r 为第一级后备保护动作时间。

将以上结果代入式 (C1) 有

$$S_g \geq \frac{I_g}{C} \sqrt{t_e} = \frac{15 \times 10^3}{70} \sqrt{0.56} \text{ mm}^2 = 160.4 \text{ mm}^2$$

► 分析: C 值的选择是根据表 C1, 接地线考虑的是钢材材质。 t_e 的选择应按照发电厂、变电所继电保护装置的配置情况而定, 本题中配有一套主保护和一级后备保护, t_e 为第一级后备保护动作时间和断路器开断时间之和。

题 9: 某 110kV 变电所, 采用图 8-9 所示的方孔接地网, 其占地面积为 $60\text{m} \times 60\text{m}$, 材料为 $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ 扁钢, 埋入深度为 0.8m , 其接地电阻 $R = 0.1\Omega$, 计算用入地短路电流为 20kA 。(2005)

(1) 该变电所接地网外地地表面最大跨步电压最接近的数值是 ()。

- (A) 140V (B) 160V
(C) 200V (D) 300V

► 答案: [B]

► 解答过程: 根据《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 附录 B 的式 (B8) 有

$$U_g = IR = 20 \times 0.1 \text{ kV} = 2 \text{ kV}$$

$$\beta = 0.1 \sqrt{n} = 0.1 \times \sqrt{4} = 0.2$$

$$\alpha_2 = 0.35 \left(\frac{n-2}{n} \right)^{1.14} \left(\frac{\sqrt{S}}{30} \right)^\beta = 0.35 \times \left(\frac{4-2}{4} \right)^{1.14} \left(\frac{\sqrt{3600}}{30} \right)^{0.2} = 0.1824$$

$$K_{\text{smax}} = (1.5 - \alpha_2) \ln \frac{h^2 + (h + T/2)^2}{h^2 + (h - T/2)^2} / \ln \frac{20.4S}{dh}$$

$$= (1.5 - 0.1824) \times \ln \frac{0.8^2 + (0.8 + 0.8/2)^2}{0.8^2 + (0.8 - 0.8/2)^2} / \ln \frac{20.4 \times 3600}{0.02 \times 0.8}$$

$$= 1.3176 \times 0.955 / 15.34 = 0.082$$

$$U_{\text{smax}} = K_{\text{smax}} U_g = 0.082 \times 2000 \text{ V} = 164 \text{ V}$$

► 分析: 本题先要搞清楚下列这些量的物理含义及其计算公式, S 为接地网的总面积 (m^2); D 为水平接地极的直径或等效直径 (m); H 为水平接地极的埋设深度 (m); L_0 为接地网的外缘边线总长度 (m); L 为水平接地极的总长度 (m)。

对于矩形接地网, n 值由下式计算 $n = 2 \left(\frac{L}{L_0} \right) \left(\frac{L_0}{4\sqrt{S}} \right)^{1/2}$

T 为跨步距离, 取 0.8m 。

(2) 35kV 的单芯电缆金属护层非接地时, 有无保护措施感应电压允许值分别为 ()。

- (A) 120V, 30V (B) 100V, 30V
(C) 120V, 50V (D) 300V, 50V

► 答案: [D]

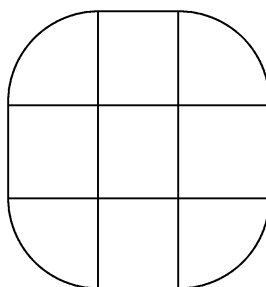


图 8-9 方孔接地网

► 解答过程：《电力工程电缆设计规范》（GB 50217—2007）第 4.1.10 条：“交流单芯电力电缆线路的金属护层上任一点非直接接地处的正常感应电势最大值应满足下列规定：1) 未采取能有效防止人员任意接触金属层的安全措施时，不得大于 50V。2) 除 1) 项情况外，不得大于 300V。”

题 10：某新建电厂一期安装两台 300MW 机组，采用发电机-变压器单元接线接入厂内 220kV 屋外中型配电装置，配电装置采用双母线接线。在配电装置构架上装有避雷针进行直击雷保护，其海拔高度不大于 1000m。主变中性点可直接接地或不接地运行。配电装置设置了以水平接地极为主的接地网，接地电阻为 0.65Ω ，配电装置（人脚站立）处的土壤电阻率为 $100\Omega \cdot \text{m}$ 。（2013）

(1) 在主变压器高压侧和高压侧中性点装有无间隙金属氧化物避雷器，请计算确定避雷器的额定电压值，并从下列数值中选择正确的一组？

- (A) 189kV, 143.6kV (B) 189kV, 137.9kV
(C) 181.5kV, 143.6kV (D) 181.5kV, 137.9kV

► 答案：[A]

► 解答过程：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 20.1.7 条，即采用无间隙金属氧化物避雷器作为雷电过电压保护装置时，应符合下列要求：

- 1 避雷器的持续运行电压和额定电压应不低于表 20.1.7 所列数值。
- 2 避雷器能承受所在系统作用的暂时过电压和操作过电压能量。

查表 20.1.7 可得 220kV 中性点无间隙金属氧化物避雷器的相地额定电压和中性点额定电压分别为：

$$0.75U_m = 0.75 \times 252\text{kV} = 189\text{kV}$$

$$0.57U_m = 0.57 \times 252\text{kV} = 143.64\text{kV}$$

► 分析：题目指出，主变中性点可直接接地或不接地运行，故中性点金属氧化物避雷器额定电压可选 $0.17U_m$ 和 $0.57U_m$ 两种电压，但 $0.17U_m$ 没有对应的答案。

(2) 若主变压器高压侧至配电装置间采用架空线连接，架构上装有两个等高避雷针，如图 8-10 所示。若被保护物的高度为 15m。请计算确定满足直击雷保护要求时，避雷针的总高度最短应选择下列哪项数值？



图 8-10

- (A) 25m (B) 30m (C) 35m (D) 40m

► 答案: [B]

► 解答过程: 显然, 本题应考察以下三个条件都满足的最小避雷针高度: 1) 两针外侧的保护范围应能保护其一侧处架空线路的最远点, 即两针外侧按单支计算 $r_x \geq 14\text{m}$ 。2) 经计算, 两针联合保护范围在 h_x 水平面上保护范围的一侧最小宽度 4.38m , 即 $b_x \geq 4.38\text{m}$ 。3) 两针间的保护范围应按通过两针顶点及保护范围上部边缘最低点 O 的圆弧确定。O 点为假想避雷针的顶点, 其高度应按下式计算: $h_o = h - \frac{D}{7P}$, 即 $h_o \geq 15\text{m}$ 。为此, 可把答案逐个代入验证如下: 由题目附图可知单根避雷针在保护高度为 15m 处的最小保护半径不应小于 14m , 可由《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 公式 (5)、(6) 来求解。若避雷针的高度为 25m , 则代入公式 (9) 有 $r_{x1} = (h - 1.53h_x)P = (25 - 1.53 \times 15)\text{m} = 2.05\text{m} < 14\text{m}$, 故首先排除 A 答案。当避雷针的高度分别为 30m 、 35m 、 40m 时, 代入公式 (5)、(6) 有 $r_{x2} = 15\text{m}$, $r_{x3} \approx 21\text{m}$, $r_{x4} \approx 26\text{m}$, 可见 B、C、D 答案所代表的高度均能满足单根避雷针在被保护物高度所需要的保护半径。现考虑两针的联合保护范围再加上单根避雷针的保护范围, 看是否能保护整个线路全长。两针之间的距离 $D = \sqrt{30^2 + 14^2}\text{m} \approx 33\text{m}$, 经计算被保护物两针间 h_x 水平面上保护范围的一侧最小宽度 $b_x = 4.38\text{m}$, 如果避雷针高度为 30m , 经计算可得 $b_x \approx 13.5\text{m}$, $h_o = 25\text{m} > 15\text{m}$ 。可见避雷针高度为 30m 已经满足上述所列的三个条件, 其保护示意图如图 8-11 所示。

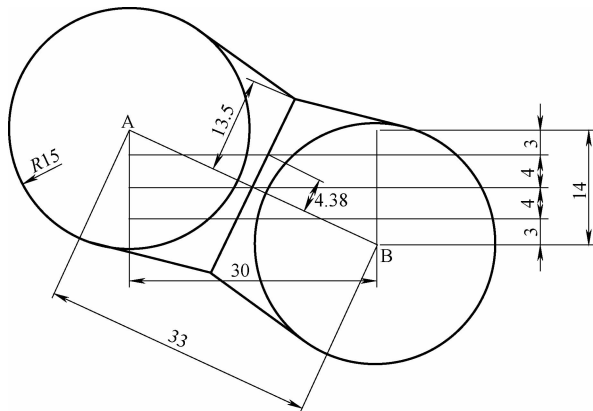


图 8-11

(3) 当 220kV 配电装置发生单相短路时, 计算入地电流不大于且最接近下列哪个值时, 接地装置可同时满足允许的最大接触电位差和最大跨步电位差的要求? (接地短路故障电流的持续时间是 0.06s , 表层衰减 C_s 系数取 1 , 接触电位差影响系数 K_m 取 0.75 , 跨步电位差影响系数 K_s 取 0.6)

- (A) 1000A (B) 1500A
(C) 2000A (D) 2500A

► 答案: [B]

依据：根据《交流电气装置的接地设计规范》（GB 50065—2011）公式 4.4.2-1 可得系统的接触电位差和跨步电位差的允许值不应超过下列公式计算所得的数值：

$$U_t = \frac{174 + 0.17\rho_s C_s}{\sqrt{t_s}} = \frac{174 + 0.17 \times 100 \times 1}{\sqrt{0.06}} \text{V} \approx 780 \text{V}$$

$$U_s = \frac{174 + 0.7\rho_s C_s}{\sqrt{t_s}} = \frac{174 + 0.7 \times 100 \times 1}{\sqrt{0.06}} \text{V} \approx 996 \text{V}$$

又根据《交流电气装置的接地》（DL/T 621—1997）式子 B3、B4 和 B7 可得：

$$U_t \geq K_m U_g = K_m IR = 0.75I \times 0.65 = 0.4875I = 780 \text{V} \Rightarrow I \leq 1600 \text{A}$$

$$U_s \geq K_s U_g = K_s IR = 0.6I \times 0.65 = 0.39I = 996 \text{V} \Rightarrow I \leq 2553.8 \text{A}$$

故选 B 为最接近的答案。

分析：本题求最大接触电位差和最大跨步电位差时，由于题干中提到表层衰减 C_s 系数，故应按新规范解答。但新规范中并没有最大接触电位差和最大跨步电位差接地装置电位的关系式，若要找出确切的依据，只有按老规范来求解。

(4) 若 220kV 配电装置的接地引下线和水平接地体采用扁钢，当流过接地引下线的单相短路接地电流为 10kA 时，按满足热稳定条件选择，计算确定接地装置水平接地体的最小截面应为下列哪项数值？（设主保护的動作时间 10ms，断路器失灵保护動作时间 1s，断路器开断时间 90ms，第一级后备保护的動作时间 0.6s，接地体发热按 400℃）

- (A) 90mm² (B) 112.4mm²
(C) 118.7mm² (D) 149.8mm²

答案：[B]

依据：本题求的是接地装置水平接地体的截面面积（而非接地引下线的截面面积），根据《交流电气装置的接地设计规范》（GB 50065—2011）第 4.3.5 条第 3 款，接地装置接地极的截面，不宜小于连接至该接地装置的接地导体截面的 75%。结合附录 E 的 E.0.1 式，可得接地装置水平接地体的最小截面满足：

$$S_g \geq 0.75 \times \frac{I_g \sqrt{t_e}}{C} = 0.75 \times \frac{10000 \sqrt{1.1}}{70} \text{mm}^2 \approx 112.4 \text{mm}^2$$

分析：（1）根据 E.0.2-1 条可得接地体的最大允许温度为 400℃，对于扁钢，其热稳定系数 $C=70$ 。（2）关于接地短路故障的持续等效时间的取值，说明如下：本题题目中并没有保护装置的具体配置情况，但根据题意，“某新建电厂一期安装两台 300MW 机组，采用发电机-变压器单元接线接入厂内 220kV 屋外中型配电装置，配电装置采用双母线接线”，根据《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 4.8.1 条第 b) 款，可知该母线保护宜设两套主保护，又根据《交流电气装置的接地设计规范》（GB 50065—2011）E.0.3 条及 E.0.3-1 式， $t_e \geq t_m + t_f + t_0 = (0.01 + 1 + 0.09) \text{s} = 1.1 \text{s}$ 。

第九章 仪表和控制

一、大纲要求 ★★★

- 1) 熟悉控制方式的设计选择;
- 2) 熟悉二次设备的布置设计;
- 3) 掌握二次回路的设计要求;
- 4) 熟悉电气系统采用计算机监控的设计;
- 5) 了解二次设备及控制电缆抗干扰的要求;
- 6) 了解电测量及计量的设置要求。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 15 分,基本都在专业知识中考试。考点集中,考试题目难度一般。答题依据主要有《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第二十章、第二十一章、第二十二章,以及《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2012)、《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)、《220 ~ 500kV 变电所计算机监控系统设计技术规程》(DL/T 5149—2001)。

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

225

(1) 火力发电厂升压站监控系统中测控装置机柜的接地采用绝缘电缆等电位母线总接地铜排,接地电缆最小截面为下列哪项值?(2012)

- (A) 35mm^2 (B) 25mm^2 (C) 16mm^2 (D) 10mm^2

▶ 答案:[A]

▶ 依据:《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2001)第 13.2.5 条第 2) 款。

13.2.5 逻辑接地系统的接地应符合以下规定:

- 1) 逻辑接地线应采用绝缘铜绞线或电缆,不允许使用裸铜线,不允许与其他接地线混用。
- 2) 逻辑接地绝缘铜绞线或电缆的截面应符合以下规定:
 - 零电位母线(铜排)至接地网之间:应不小于 35mm^2 ;
 - 屏间零电位母线间的连接线:应不小于 16mm^2 。
- 3) 逻辑接地线与接地体的连接应采用焊接,不允许采用压接。
- 4) 逻辑接地线的布线应尽可能短。

由第2)款可知，答案为A。也可根据该规程的表13.3.7，即各种用途接地线的截面选择表，答案也为A。

表 13.3.7 各种用途接地线的截面选择表		
序号	连接对象	接地铜线最小截面 mm ²
1	总接地板—接地点	35
2	计算机系统地—总接地板	16
3	机柜间链式接地连接线	2.5
4	机柜与钢筋接地连接线	2.5
5	外设经三孔插头接地	按厂家预供电缆规范

注：1. 表中接线采用绝缘铜绞线或电缆。
2. 计算机系统地包括逻辑地、信号地、屏蔽地。

(2) 电力工程设计中，下列哪项缩写的解释是错误的？(2011)

- (A) AVR——自动励磁装置 (B) ASS——自动同步系统
(C) DEH——数字式电液调节器 (D) SOE——事件顺序

答案：[A]

依据：《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2001) 3.2 缩写和代号可知 AVR 为自动电压调节器，ASS 为自动同步系统，DEH 为数字式电液调节器，SOE 为事件顺序。

分析：常用的专业术语应该在平时工作中注意总结，不断加深记忆，该节还规定了其他专业术语的缩写和代号。

226

(3) 电力工程中，当采用计算机监控时，监控系统的信号电缆屏蔽层选择，下列哪项是错误的？(2011)

- (A) 开关量信号，可选用外部总屏蔽
(B) 脉冲信号，宜采用双层式总屏蔽
(C) 高电平模拟信号，宜采用对绞芯加外部总屏蔽
(D) 低电平模拟信号，宜采用对绞芯分屏蔽

答案：[B]

依据：《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007) 第 3.6.7 条第 3 款：“控制电缆金属屏蔽类型的选择，对于开关信号可选用总屏蔽；对于高电平模拟信号，宜选用对绞线芯总屏蔽；对低电平模拟信号或脉冲量信号，宜选用对绞线芯分屏蔽。”

(4) 在发电厂、变电所的配电装置中，就地操作的断路器，若装设了监视跳闸回路的位置继电器，并用红、绿灯作位置指示灯时，正常运行时的状态是下列哪项？(2011)

- (A) 红灯亮 (B) 绿灯亮 (C) 暗灯运行 (D) 绿灯闪光

答案：[C]

依据：《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2001) 第 7.1.4 条：“配电装置就地操作的断路器，可只装设监视跳闸回路的位置继电器，用红、绿

灯作位置指示灯，正常时暗灯运行，事故时绿灯闪光，并向控制室发出声、光信号。”

(5) 在发电厂、变电所中，如电压互感器二次侧的保护设备采用自动开关，该自动开关瞬时脱扣器断开短路电流的时间最长应不超过下列哪项数值？(2011)

- (A) 10ms (B) 20ms (C) 30ms (D) 50ms

▶ 答案：[B]

▶ 依据：《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2001) 第 9.2.11 条 b) 款第 3) 点。

9.2.11 自动开关额定电流的选择应符合以下规定：

a) 自动开关额定电流应按回路的最大负荷电流选择，并满足选择性的要求；干线上自动开关脱扣器的额定电流应较支线上的大 2 到 3 级。

b) 电压互感器二次侧自动开关的选择应满足以下要求：

1) 自动开关瞬时脱扣器的动作电流，应按大于电压互感器二次回路的最大负荷电流来整定；

2) 当电压互感器运行电压为 90% 额定电压时，二次电压回路末端经过渡电阻短路，加于继电器线圈上的电压低于 70% 额定电压时，自动开关应瞬时动作；

3) 自动开关瞬时脱扣器断开短路电流的时间应不大于 20ms；

4) 自动开关应附有用于闭锁有关保护误动的常开辅助触点和自动开关跳闸时发报警信号的常闭辅助触点。

(6) 220 ~ 500kV 隔离开关、接地刀闸都必须有 ()。(2011)

- (A) 电动操作机构 (B) 操作闭锁措施
(C) 两组独立的操作电源 (D) 防跳继电器

▶ 答案：[B]

▶ 依据：《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2001) 第 7.1.8 条。

7.1.8 220kV ~ 500kV 倒闸操作用的隔离开关宜远方及就地操作；检修用的隔离开关、接地刀闸和母线接地器宜就地操作。额定电压为 110kV 及以下的隔离开关、接地刀闸和母线接地器宜就地控制。

隔离开关、接地刀闸和母线接地器，都必须有操作闭锁措施，严防电气误操作。防电气误操作回路的电源应单独设置。

(7) 一般情况下，发电厂、变电所中的控制、保护和自动装置供电回路熔断器或自动开关的配置应符合下列哪项要求？(2008)

(A) 当一个安装单位含有几台断路器时控制、保护和自动装置供电回路熔断器可共用一组熔断器

(B) 当本安装单位含有几台断路器而各断路器之间有程序控制要求时，控制、保护和自动装置应设置专用的熔断器

(C) 当本安装单位含有几台断路器而各断路器无单独运行可能时，控制、保护和自动装置应设置专用的熔断器

(D) 当本安装单位仅含有一台断路器时，控制、保护和自动装置可共用一组熔断器或自动开关

答案：[D]

依据：《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》（DL/T 5136—2001）第 9.2.4 条第 1) 款。

9.2.4 一般情况下（第 9.2.2 和 9.2.3 条除外），控制、保护和自动装置供电回路熔断器或自动开关的配置应符合以下规定：

1) 当本安装单位仅含一台断路器时，控制、保护及自动装置可共用一组熔断器或自动开关。

2) 当一个安装单位含几台断路器时，应设总熔断器或自动开关，并按断路器设分熔断器或自动开关，分熔断器或自动开关应经总熔断器或自动开关供电；公用保护和公用自动装置应接于总熔断器或自动开关之下。对其他保护或自动控制装置按保证正确工作的条件，可接于分熔断器或自动开关或总熔断器或自动开关之下。

3) 本安装单位含几台断路器而各断路器无单独运行可能或断路器之间有程序控制要求时，保护和各断路器控制回路可共用一组熔断器或自动开关。

4) 发电机出口断路器和自动灭磁装置控制回路可合用一组熔断器或自动开关。发电机出口不装设断路器时，自动灭磁装置控制回路应单独装设熔断器或自动开关。

(8) 下列哪种报警信号为发电厂、变电所信号系统中的事故报警信号？(2008)

- (A) 设备运行异常时发出的报警信号
- (B) 断路器事故跳闸时发出的报警信号
- (C) 具有闪光程序的报警信号
- (D) 以上三种信号都是事故报警信号

答案：[B]

依据：《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》（DL/T 5136—2001）第 3.1.13、3.1.14、3.1.15 条。

3.1.13 中央信号装置（central signaler）

发电厂、变电所内用于发出事故和预告信号的公用装置。

3.1.14 闪光报警器（flash alarm）

具有闪光程序的报警装置。

3.1.15 事故信号 (fault alarm)

断路器事故跳闸时发出的报警信号。

由此可知,事故信号指的是断路器事故跳闸时发出的报警信号;设备运行异常时发出的报警信号指的是预告信号;具有闪光程序的报警装置是闪光报警器。

(9) 在电气二次回路设计中,下列哪种继电器应标明极性?(2013)

- (A) 中间继电器 (B) 时间继电器 (C) 信号继电器 (D) 防跳继电器

▶ 答案:[D]

▶ 依据:《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2012)第5.1.12条,对具有电流或电压自保持的继电器,如防跳继电器等,在接线中应标明极性。

▶ 分析:这一条间接说明防跳继电器应标明极性。

2. 多项选择题**(1) 在电力系统电能量计量表接线的描述中,哪几项是正确的?(2012)**

- (A) 电流互感器的二次绕组接线,宜先接常用电测量仪表,后接测控装置
(B) 电流互感器的二次绕组应采用防止开路的保护措施
(C) 用于测量的二次绕组应在测量仪表屏处接地
(D) 和电流的两个二次绕组应并接和一点接地,接地点应在和电流处

▶ 答案:[A、B、D]

▶ 依据:《电测量及电能计量装置设计技术规程》(DL/T 5137—2001)第11.1.5条:“电流互感器的二次绕组的中性点应有一个接地点。测量用二次绕组应在配电装置处接地,和电流的两个二次绕组中性点应并接和一点接地”,故C答案错误,D答案正确;根据第11.1.3条:“直接接于电流互感器二次绕组的一次测量仪表,不宜采用开关切换检测三相电流,必要时应有防止电流互感器二次开路的保护措施”,故B答案正确;根据《电能量计量系统设计技术规程》(DL/T 5202—2004)第8.0.2条:“电能量计量表计应接入电流互感器绕组最前端”,故A答案正确。

229

(2) 发电厂、变电所中,下列有关电流互感器配置和接线的描述,正确的是哪几项?(2011)

(A) 当测量仪表和保护装置共用电流互感器同一个二次绕组时,保护装置接在仪表之后

- (B) 500kV 保护用电流互感器的暂态特性应满足继电保护的要求
(C) 对于中性点直接接地系统,电流互感器按三相配置
(D) 用于自动调整励磁装置的电流互感器应布置在发电机定子绕组的出线侧

▶ 答案:[B、C、D]

▶ 依据:根据《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2001)第7.4.1、7.4.2、7.4.5条。

7.4.1 电流互感器的选择应符合以下要求：

- 1) 应满足一次回路的额定电压、最大负荷电流及短路时的动、热稳定电流的要求；
- 2) 应满足二次回路测量仪表、继电保护和自动装置的要求；
- 3) 500kV 保护用电流互感器的暂态特性应满足继电保护的要求。

7.4.2 电流互感器的配置应符合以下要求：

- 1) 电流互感器二次绕组的数量与准确等级应满足继电保护自动装置和测量表计的要求。
- 2) 用于保护装置时，应减少主保护的不保护区。保护接入电流互感器二次绕组的分配，应注意避免当一套线路保护停用而线路继续运行时，出现电流互感器内部故障时的保护死区。

3) 对中性点直接接地系统，可按三相配置；对中性点非直接接地系统，依具体要求可按两相或三相配置。

4) 当采用一台半断路器接线时，对独立式电流互感器每串宜配置三组。

5) 用于自动调整励磁装置时，应布置在发电机定子绕组的出线侧。

7.4.5 当测量仪表与保护装置共用一组电流互感器时，宜分别接于不同的二次绕组。若受条件限制需共用电流互感器同一个二次绕组时，应按下述原则配置：

- 1) 保护装置接在仪表之前，避免校验仪表时影响保护装置工作；
- 2) 电流回路开路能引起保护装置不正确动作，而又未设有有效的闭锁和监视时，仪表应经中间电流互感器连接，当中间互感器二次回路开路时，保护用电流互感器误差仍应保证其准确度要求。

由 7.4.1 条第 3) 款可知 B 答案正确；由 7.4.2 第 3) 款可知 C 答案正确，由第 5) 款可知 D 答案正确；由 7.4.5 条第 1) 款可知 A 答案错误。

(3) 在发电厂、变电所中，下列哪些回路应监测交流系统的绝缘？(2011)

- | | |
|-------------------|----------------------|
| (A) 发电机的定子回路 | (B) 220kV 系统的母线和回路 |
| (C) 35kV 系统的母线和回路 | (D) 10kV 不接地系统的母线和回路 |

▶ 答案：[A、C、D]

▶ 依据：《电测量及电能计量装置设计技术规程》(DL/T 5137—2001) 第 5.3.2 条。

(4) 在发电厂、变电所设计中，电压互感器的配置和中性点接地设计原则，下列哪些是正确的？(2011)

- (A) 对于中性点直接接地系统，电压互感器剩余绕组额定电压应为 $100\text{V}/3$
- (B) 500kV 电压互感器应具有三个二次绕组，其暂态特性和铁磁谐振特性应满足继电保护要求
- (C) 对于中性点直接接地系统，电压互感器星形接线的二次绕组应采用中性点一点接地方式，且中性点接地线中不应串接有可能断开的设备
- (D) 电压互感器开口三角绕组引出端之一应一点接地，接地引出线上不应串接有可能

断开的设备

▶ 答案：[B、C、D]

▶ 依据：根据《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》（DL/T 5136—2001）第 7.4.10、7.4.14 条。

7.4.10 电压互感器的选择应符合以下要求：

1) 应满足一次回路额定电压的要求。

2) 容量和准确等级（包括电压互感器剩余绕组）应满足测量仪表、保护装置和自动装置的要求。

3) 对中性点非直接接地系统，需要检查和监视一次回路单相接地时，应选用三相五柱或三个单相式电压互感器，其剩余绕组额定电压应为 $100\text{V}/3$ 。中性点直接接地系统，电压互感器剩余绕组额定电压应为 100V 。

4) 500kV 电压互感器应具有三个二次绕组，其暂态特性和铁磁谐振特性应满足继电保护的要求。

7.4.14 电压互感器二次绕组的接地

对中性点直接接地系统，电压互感器星形接线的二次绕组应采用中性点一点接地方式（中性线接地）。中性点接地线（中性线）中不应串接有可能断开的设备。

对中性点非直接接地系统，电压互感器星形接线的二次绕组宜采用 B 相一点接地方式，也可采用中性点一点接地方式（中性线接地）。当采用 B 相接地方式时，二次绕组中性点应经击穿保险接地。B 相接地线和 B 相熔断器或自动开关之间不应再串接有可能断开的设备。

对 V-V 接线的电压互感器，宜采用 B 相一点接地，B 相接地线上不应串接有可能断开的设备。

电压互感器开口三角绕组的引出端之一应一点接地，接地引线上不应串接有可能断开的设备。

几组电压互感器二次绕组之间有电路联系或者地电流会产生零序电压使保护误动作时，接地点应集中在控制室或继电器室内一点接地。无电路联系时，可分别在不同的控制室或配电装置内接地。

由电压互感器二次绕组向交流操作继电器保护或自动装置操作回路供电时，电压互感器二次绕组之一或中性点应经击穿保险或氧化锌避雷器接地。

231

由 7.4.10 条第 3) 款可知 A 答案错误，由第 4) 款可知 B 答案正确；由 7.4.14 条可知 C、D 答案正确。

(5) 断路器的控制回路应满足下列哪些要求？(2008)

- (A) 合闸或跳闸的完成后应使命令脉冲自动解除
- (B) 有防止断路器“跳跃”的电气闭锁装置
- (C) 接线应简单可靠，使用电缆芯最少
- (D) 断路器自动合闸后，不需要明显显示信号

答案：[A、B、C]

依据：《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》（DL/T 5136—2001）第 7.1.2 条。

7.1.2 断路器的控制回路应满足以下要求：

- 1) 应有电源监视，并宜监视跳、合闸绕组回路的完整性。
- 2) 应能指示断路器合闸与跳闸的位置状态；自动合闸或跳闸时应有明显信号。
- 3) 合闸或跳闸完成后应使命令脉冲自动解除。
- 4) 有防止断路器“跳跃”的电气闭锁装置。
- 5) 接线应简单可靠，使用电缆芯最少。

分析：根据该条第 2) 款规定，自动重合闸或跳闸时应有明显信号。

(6) 常规中央信号装置应具备下列哪些功能？(2008)

- (A) 断路器跳闸时，能瞬间发出音响信号及相应的灯光信号
- (B) 发生故障时，能瞬间发出预告音响，并以光字牌显示故障性质
- (C) 能手动或自动复归音响，而保留光字牌信号
- (D) 在事故音响信号试验时，应停事故电钟

答案：[A、B、C]

依据：《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》（DL/T 5136—2001）第 7.2.2 条。

232

7.2.2 中央信号接线应简单、可靠，对其电源熔断器应有监视。中央信号装置应具备下列功能：

- 1) 对音响监视接线能实现亮屏或暗屏运行；
- 2) 断路器事故跳闸时，能瞬时发出音响信号及相应的灯光信号；
- 3) 发生故障时，能瞬时发出预告音响，并以光字牌显示故障性质；
- 4) 能进行事故和预告信号及光字牌完好性的试验；
- 5) 能手动或自动复归音响，而保留光字牌信号；
- 6) 试验遥信事故信号时，不应发出遥信信号；
- 7) 事故音响动作时，应停事故电钟。但在事故音响信号试验时，不应停钟。

分析：根据该条的第 7) 款规定，事故音响动作时，应停事故电钟，但在事故音响信号试验时，不应停钟，故答案 D 错误。

(7) 电流互感器的选择应符合下列哪些要求？(2008)

- (A) 应满足一次回路额定电压的要求
- (B) 容量和准确等级应满足测量仪表、保护装置和自动装置的要求
- (C) 对中性点非直接接地系统，电流互感器剩余绕组额定电压应为 100V
- (D) 对中性点非直接接地系统，电流互感器剩余绕组额定电压应为 100/3V

答案：[A、B]

依据：《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》（DL/T 5136—2001）第 7.4.1 条。

7.4.1 电流互感器的选择应符合以下要求：

- 1) 应满足一次回路的额定电压、最大负荷电流及短路时的动、热稳定电流的要求；
- 2) 应满足二次回路测量仪表、继电保护和自动装置的要求；
- 3) 500kV 保护用电流互感器的暂态特性应满足继电保护的要求。

分析：根据《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）第 16.0.7 条，C、D 两个答案应该是电压互感器应满足的要求。

(8) 变电所中，计算机监控系统开关量输出信号满足下列哪些要求？(2008)

- (A) 具有严密的返送校核措施
- (B) 用通信接口方式输出
- (C) 输出触点容量应满足受控回路电流和容量要求
- (D) 输出触点数量应满足受控回路数量要求

答案：[A、C、D]

依据：《220 ~ 500kV 变电所计算机监控系统设计技术规程》（DL/T 5149—2001）第 7.4.1 条：“变电所计算机监控系统开关量输出信号应具有严密的返送校核措施，其输出触点容量应满足受控回路电流和容量的要求，输出触点的数量应满足受控回路数量的要求。”

233

(9) 在二次回路设计中，对隔离开关、接地刀闸的操作回路，宜遵守下列哪些规定？(2013)

- (A) 220 ~ 500kV 隔离开关、接地刀闸和母线接地器宜能远方和就地操作
- (B) 110kV 及以下隔离开关、接地刀闸和母线接地器宜就地操作
- (C) 检修用的隔离开关、接地刀闸和母线接地器宜就地操作
- (D) 隔离开关、接地刀闸和母线接地器必须有操作闭锁措施

答案：[B、C、D]

依据：《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》（DL/T 5136—2001）第 7.1.8 条。

7.1.8 220kV ~ 500kV 倒闸操作用的隔离开关宜远方及就地操作；检修用的隔离开关、接地刀闸和母线接地器宜就地操作。额定电压为 110kV 及以下的隔离开关、接地刀闸和母线接地器宜就地控制。

隔离开关、接地刀闸和母线接地器，都必须有操作闭锁措施，严防电气误操作。防电气误操作回路的电源应单独设置。

分析：在《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》（DL/T 5136—2012）中并没有直接对应的条款。

(10) 发电厂、变电站中二次回路的抗干扰措施有多种，下列哪些是正确的？（2013）

- (A) 电缆通道的走向应尽可能与高压母线平行
- (B) 控制回路及直流配电网络的电缆宜采用辐射状敷设，应避免构成环路
- (C) 控制室、二次设备间、电子装置应有可靠屏蔽措施
- (D) 电缆的屏蔽层应可靠接地

答案：[B、C、D]

依据：《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》（DL/T 5136—2012）第 16.4.1 ~ 16.4.6 条及条文说明 16.4.5 条第（2）款。

16.4.1 控制电源馈线不宜构成闭环运行。不应使地电位差串入二次回路。电缆通道应有均压措施。

16.4.2 二次回路中可能产生过电压时，应设放电消弧等措施。

16.4.3 电子回路的导体和电缆应尽可能远离干扰源，必要时应设置干扰隔离措施。

16.4.4 电子装置的电源进线应设必要的滤波去耦措施。

16.4.5 继电器室、电子装置应有可靠屏蔽措施。

16.4.6 电缆的屏蔽层应可靠接地。（以下略）

234

条文说明 16.4.5 应解决好下列屏蔽问题：

（2）控制室、二次回路设备间屏蔽措施，只考虑防止频率为 10MHz ~ 15MHz 以下的电磁波，故可用 40mm × 4mm 的扁钢在小间屋内和四周焊成 2m × 2m 的方格网，并和周边接地网相连（门窗沿周边敷设扁钢而后接地）。15MHz 以上的屏蔽由装置本身采取措施。

分析：《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》（DL/T 5136—2001）第 13.4.1 ~ 13.4.6 条也可得到答案。

13.4.1 控制电源馈线不宜构成闭环运行。不应使地电位差串入二次回路。电缆通道应有均压措施。

13.4.2 二次回路中可能产生过电压时，应设放电消弧等措施。

13.4.3 电子回路的导体和电缆应尽可能远离干扰源，必要时应设置干扰隔离措施。

13.4.4 电子装置的电源进线应设必要的滤波去耦措施。

13.4.5 控制室、二次设备间、电子装置应有可靠屏蔽措施。

13.4.6 电缆的屏蔽层应可靠接地。

第十章 继电保护、安全自动装置 及调度自动化

一、大纲要求 ★★★

- 1) 掌握线路、母线和断路器继电保护的配置、整定计算及设备选择;
- 2) 熟悉电气主设备继电保护的配置、整定计算及设备选择;
- 3) 了解安全自动装置的原理及配置;
- 4) 了解电力系统调度自动化的功能及配置。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 20 分,其中专业知识占 10 分左右,案例占 10 分左右。考点相对集中,考试题目有一定难度。答题依据主要有《电力工程电气设计手册 电气二次部分》第二十八章、第二十九章,以及《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006)、《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)。前些年对继电保护的整定计算考查较少,近年来加大了对这方面内容的考查,应该引起足够的重视。

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

235

(1) 电力系统中,下列哪种线路的相间短路保护宜采用近后备方式?(2012)

- (A) 10kV 线路 (B) 35kV 线路
(C) 110kV 线路 (D) 220kV 线路

答案:[D]

依据:《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006)第 4.4.1.2 条:“3kV~10kV 相间短路保护应采用远后备方式”,故 A 答案错。根据第 4.5.1.1 条:“35kV~66kV 对相间短路采用远后备方式”,故 B 答案错。根据第 4.6.1.3 条:“110kV 线路的后备保护宜采用远后备方式”,故 C 答案错。根据第 4.6.2.2 条:“220kV 线路的后备保护宜采用近后备方式”,故 D 答案正确。

(2) 变电所中不同接线的并联补偿电容器组,下列哪种保护配置是错误的?(2012)

- (A) 中性点不接地单星形接线的电容器组,装设中性点电流不平衡保护

- (B) 中性点接地单星形接线的电容器组，装设中性点电流不平衡保护
- (C) 中性点不接地双星形接地的电容器组，装设中性点电流不平衡保护
- (D) 中性点接地双星形接线的电容器组，装设中性点回路电流差的不平衡保护

► 答案：[A]

► 依据：《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 4.11.4 条第 a 款：“中性点不接地单星形接线电容器组，可装设中性点电压不平衡保护”，故 A 答案错。根据第 b 款：“中性点接地单星形接线电容器组，可装设中性点电流不平衡保护”，故 B 答案对；根据第 c 款：“中性点不接地双星形接线电容器组，可装设中性点间电流或电压不平衡保护”，故 C 答案对；根据第 d 款：“中性点接地双星形接线的电容器组，可装设反应中性点回路电流差的不平衡保护”，故 D 答案对。

(3) 对于 25MW 的水轮发电机，采用低压起动的过电流作为发电机外部相间短路的后备保护时，其低电压元件接线电压取值应为下列哪项？（2012）

- (A) 相电压的 0.6 倍
- (B) 相电压的 0.7 倍
- (C) 线电压的 0.6 倍
- (D) 线电压的 0.7 倍

► 答案：[D]

► 依据：《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》（GB/T 50062—2008）第 3.0.6 条第二款：“对 1MW 以上的发电机，宜装设低压启动或复合电压启动的过电流保护。电流元件的动作电流，可取发电机额定值的 1.3 ~ 1.4 倍；低电压元件接线电压的动作电压，汽轮机发电机可取额定电压值的 0.6 倍，水轮发电机可取额定电压值的 0.7 倍。负序电压元件的动作电压，可取额定电压值的 0.06 ~ 0.12 倍。”

► 分析：在《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）中并没有相应的依据。另外，电力系统中，额定电压一般指线电压。

(4) 发电厂和变电所的 35 ~ 110kV 母线，下列哪种母线形式不需要装设专用母线保护？（2012）

- (A) 110kV 双母线
- (B) 需要快速切除母线故障的 110kV 单母线
- (C) 变电所 66kV 双母线
- (D) 需要快速切除母线故障的重要发电厂的 35kV 单母线

► 答案：[C]

► 依据：《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 4.8.2 条。

4.8.2 发电厂和变电所的 35kV ~ 110kV 电压的母线，在下列情况下应装设专用的母线保护：

- a) 110kV 双母线；
- b) 110kV 单母线、重要发电厂或 110kV 以上重要变电所的 35kV ~ 66kV 母线，需要快速切除母线上的故障时；

c) 35kV ~ 66kV 电力网中, 主要变电所的 35kV ~ 66kV 双母线或分段单母线需快速而有选择地切除一段或一组母线上的故障, 以保证系统安全稳定运行和可靠供电。

(5) 发电厂、变电所中, 对于 10kV 线路相间短路保护装置的要求, 下列错误的是 ()。(2011)

(A) 后备保护应采用近后备方式

(B) 对于单侧电源线路可装设两段过电流保护, 第一段为不带时限的电流速断保护, 第二段为带时限的过电流保护

(C) 当线路短路使发电厂厂用母线或重要用户母线电压低于额定电压的 60%, 以及线路导线截面过小, 不允许带时限切除故障时, 应快速切除故障

(D) 对于 1 ~ 2km 双侧电源的短线路, 当有特殊要求时, 可采用纵差保护作为主保护, 电流保护作为后备

▶ 答案: [A]

▶ 依据: 《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006) 第 4.4.1.2 条: “10kV 线路相间短路保护应该用远后备方式”, 故 A 答案错误; 由第 4.4.2.1 条可知 B、C 答案正确; 由第 4.4.2.2 条可知 D 答案是正确的。

4.4.2.1 单侧电源线路:

可装设两段过电流保护, 第一段为不带时限的电流速断保护; 第二段为带时限的过电流保护, 保护可采用定时限或反时限特性。

带电抗器的线路, 如其断路器不能切断电抗器前的短路, 则不应装设电流速断保护。此时, 应由母线保护或其他保护切除电抗器前的故障。

自发电厂母线引出的不带电抗器的线路, 应装设无时限电流速断保护, 其保护范围应保证切除所有使该母线残余电压低于额定电压 60% 的短路。为满足这一要求, 必要时, 保护可无选择性动作, 并以自动重合闸或备用电源自动投入来补救。

保护装置仅装在线路的电源侧。

线路不应多级串联, 以一级为宜, 不应超过二级。

必要时, 可配置光纤电流差动保护作为主保护, 带时限的过电流保护为后备保护。

4.4.2.2 双侧电源线路

a) 可装设带方向或不带方向的电流速断保护和过电流保护。

b) 短线路、电缆线路、并联连接的电缆线路宜采用光纤电流差动保护作为主保护, 带方向或不带方向的电流保护作为后备保护。

c) 并列运行的平行线路, 尽可能不并列运行, 当必须并列运行时, 应配以光纤电流差动保护, 带方向或不带方向的电流保护作后备保护。

(6) 在 110kV 电力系统中, 对于容量小于 63MVA 的变压器, 由外部相间短路引起的变压器过电流, 应装设相应的保护装置。保护装置动作后, 应带时限动作于跳闸, 且应符合相关规定, 下列哪项表述不符合规定? (2011)

(A) 过电流保护宜用于降压变压器

(B) 复合电压起动的过电流保护宜用于升压变压器、系统联络变压器和过电流不符合灵敏性要求的降压变压器

(C) 低电压闭锁的过电流保护宜用于升压变压器、系统联络变压器和过电流不符合灵敏性要求的降压变压器

(D) 过电流保护宜用于升压变压器、系统联络变压器

答案：[D]

依据：根据《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 4.3.5.1 条：“35kV ~ 66kV 及以下中小容量的降压变压器，宜采用过电流保护”，故 A 答案正确，D 答案错误。根据第 4.3.5.2 条：“110kV ~ 500kV 降压变压器、升压变压器和系统联络变压器，相间短路后备保护用过电流保护不能满足灵敏性要求时，宜采用复合电压起动的过电流保护或复合电流保护”，故 B、C 答案对。

(7) 变电所中，电容器组台数的选择及保护配置，应考虑不平衡保护有足够的灵敏度。当切除部分故障电容器，引起剩余电容器过电压时，保护装置应发出信号或动作于跳闸，发出信号或动作于跳闸的过电压值分别为（ ）。(2011)

(A) $\leq 102\%$ 额定电压、 $> 110\%$ 额定电压

(B) $\leq 105\%$ 额定电压、 $> 110\%$ 额定电压

(C) $\leq 110\%$ 额定电压、 $> 115\%$ 额定电压

(D) $\leq 105\%$ 额定电压、 $> 115\%$ 额定电压

答案：[B]

依据：《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 4.11.4 条：“电容器组台数的选择及其保护配置时，应考虑不平衡保护有足够的灵敏度，当切除部分故障电容器后，引起剩余电容器的过电压小于或等于额定电压的 105% 时，应发出信号；过电压超过额定电压的 110% 时，应动作于跳闸。”

(8) 一回 35kV 电力线路长 15km，装设带方向电流保护，该保护电流元件的最小灵敏系数不小于下列哪项数值？(2011)

(A) 1.3

(B) 1.4

(C) 1.5

(D) 2

答案：[C]

依据：《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）附录 A 表 A.1。

(9) 以下哪种发电机，可不装设定子过电压保护？(2011)

(A) 50MW 的水轮发电机

(B) 300MW 的水轮发电机

(C) 50MW 的汽轮发电机

(D) 300MW 的汽轮发电机

答案：[C]

依据：根据《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 4.2.7.1 条：“对水轮发电机，应装设过电压保护，其整定值根据定子绕组绝缘状况决定。

过电压保护宜动作于解列灭磁”，可知水轮发电机都应装设定子过电压保护。由第 4.2.7.2 条：“对于 100MW 及以上的汽轮发电机，宜装设过电压保护，其整定值根据定子绕组绝缘状况决定。过电压保护宜动作于解列灭磁或程序跳闸”，可知 50MW 的汽轮发电机不用装设定子过电压保护。

(10) 下列短路保护的最小灵敏系数哪项是不正确的？(2008)

- (A) 电流保护 1.3 ~ 1.5 (B) 发电机纵差保护 1.5
(C) 变压器电流速断保护 1.3 (D) 电动机电流速断保护 1.5

▶ 答案：[C]

▶ 依据：《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006) 附录 A。

表 A.1 短路保护的最小灵敏系数

表 A.1 短路保护的最小灵敏系数					
保护分类	保护类型	组成元件		灵敏系数	备注
主保护	带方向和不带方向的电流保护或电压保护	电流元件和电压元件		1.3 ~ 1.5	200km 以上线路, 不小于 1.3; 50 ~ 200km 线路, 不小于 1.4; 50km 以下线路, 不小于 1.5
		零序或负序方向元件		1.5	
	距离保护	起动元件	负序和零序增量或负序分量元件、相电流突变量元件	4	距离保护第三段动作区末端故障, 大于 1.5
			电流和阻抗元件	1.5	
		距离元件		1.3 ~ 1.5	线路末端短路电流应为阻抗元件精确工作电流 1.5 倍以上。200km 以上线路, 不小于 1.3; 50 ~ 200km 线路, 不小于 1.4; 50km 以下线路, 不小于 1.5
	平行线路的横联差动方向保护和电流平衡保护	电流和电压起动元件		2.0	线路两侧均未断开前, 其中一侧保护按线路中点短路计算
				1.5	线路一侧断开后, 另一侧保护按对侧短路计算
		零序方向元件		2.0	线路两侧均未断开前, 其中一侧保护按线路中点短路计算
				1.5	线路一侧断开后, 另一侧保护按对侧短路计算
	线路纵联保护	跳闸元件		2.0	
		对高阻接地故障的测量元件		1.5	个别情况下, 为 1.3
	发电机、变压器、电动机纵差保护	差电流元件的启动电流		1.5	
	母线的完全电流差动保护	差电流元件的启动电流		1.5	
	母线的不完全电流差动保护	差电流元件		1.5	
发电机、变压器、线路和电动机的电流速断保护	电流元件		1.5	按保护安装处短路计算	

(续)				
保护分类	保护类型	组成元件	灵敏系数	备注
后备保护	远后备保护	电流、电压和阻抗元件	1.2	按相邻电力设备和线路末端短路计算(短路电流应为阻抗元件精确工作电流 1.5 倍以上),可考虑相继动作
		零序或负序方向元件	1.5	
	近后备保护	电流、电压和阻抗元件	1.3	按线路末端短路计算
		负序或零序方向元件	2.0	
辅助保护	电流速断保护		1.2	按正常运行方式保护安装处短路计算

说明: ① 主保护的灵敏系数除表中注出者外, 均按被保护线路(设备)末端短路计算。
② 保护装置如反应故障时增长的量, 其灵敏系数为金属性短路计算值与保护整定值之比; 如反应故障时减少的量, 则为保护整定值与金属性短路计算值之比。
③ 各种类型的保护中, 接于全电流和全电压的方向元件的灵敏系数不作规定。
④ 本表内未包括的其他类型的保护, 其灵敏系数另作规定。

(11) 对于电力系统中自动重合闸装置的装设, 下列哪种说法是错误的?(2008)

- (A) 必要时母线故障可采用母线自动重合闸装置
(B) 110kV 及以下单侧电源线路, 可采用 3 相一次重合闸
(C) 对于 220kV 单侧电源线路, 采用不检查同步的 3 相重合闸方式
(D) 对于 330~500kV 线路, 一般情况下应装设 3 相重合闸装置

答案: [D]

依据: 根据《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006) 第 5.2.1、5.2.4.1、5.2.6 条。

5.2.1 自动重合闸装置应按下列规定装设:

- a) 3kV 及以上的架空线路及电缆与架空混合线路, 在具有断路器的条件下, 如用电设备允许且无备用电源自动投入时, 应装设自动重合闸装置;
b) 旁路断路器与兼作旁路的母线联络断路器, 应装设自动重合闸装置;
c) 必要时母线故障可采用母线自动重合闸装置。

5.2.4 110kV 及以下单侧电源的线路的自动重合闸装置, 按下列规定装设:

5.2.4.1 采用三相一次重合闸方式;

5.2.6 220kV~500kV 线路应根据电力网结构和线路的特点采用下列重合闸方式:

- a) 对 220kV 单侧电源线路, 采用不检查同步的三相重合闸方式;
b) 对 220kV 线路, 当满足本标准 5.2.5.1 条有关采用三相重合闸方式的规定时, 可采用不检查同步的三相自动重合闸方式;
c) 对 220kV 线路, 当满足本标准 5.2.5.2 条有关采用三相重合闸方式的规定, 且电力系统稳定要求能满足时, 可采用检查同步的三相自动重合闸方式;
d) 对不符合上述条件的 220kV 线路, 应采用单相重合闸方式;

e) 对 330kV ~ 500kV 线路, 一般情况下应采用单相重合闸方式;

f) 对可能发生跨线故障的 330kV ~ 500kV 同杆并架双回线路, 如输送容量较大, 且为了提高电力系统安全稳定运行水平, 可考虑采用按相自动重合闸方式。

注: 上述三相重合闸方式也包括仅在单相故障时的三相重合闸。

由 5.2.1 条第 c 款可知 A 答案正确; 由 5.2.4.1 条可知自动重合闸装置应采用三相一次重合闸方式, 则 B 答案正确; 由 5.2.6 条第 c) 款可知 C 答案正确, 第 e) 款可知 D 答案错误。

(12) 某 220kV 变电所, 主变压器保护中下列哪种不启动断路器失灵保护? (2008)

- (A) 变压器差动保护 (B) 变压器零序电流保护
(C) 变压器瓦斯保护 (D) 变压器速断保护

答案: [C]

依据: 《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006) 第 4.3.14 条: “变压器非电气量保护不应启动失灵保护。”

分析: 变压器瓦斯保护不属于电气量保护。

(13) 发电机能承受的过载能力与过载时间有关, 当发电机过载为 1.4 倍额定定子电流时, 允许的过电流时间应为 (取整数) (2013)

- (A) 9 秒 (B) 19 秒 (C) 39 秒 (D) 28 秒

答案: [C]

依据: 《隐机同步发电机技术要求》(GB/T 7064—2008) 第 4.15 条。

4.15 定子过电流

额定容量在 1200MVA 及以下的电机, 应能承受 1.5 倍的额定定子电流历时 30s 而无损伤。

对额定容量大于 1200MVA 的电机, 应能承受 1.5 倍的额定定子电流, 但允许的过电流时间应由供需双方商定, 可以小于 30s, 随容量增加过电流的时间可减小, 但最小为 15s。

容量在 1200MVA 及以下, 电机允许的过电流时间与过电流倍数以下式表示:

$$\begin{aligned}(I^2 - 1)t &= 37.5 \\ \Rightarrow (1.4^2 - 1)t &= 37.5 \\ \Rightarrow t &\approx 39.06\text{s} \approx 39\text{s}\end{aligned}$$

(14) 在发电厂中, 容量为 370MVA 的双绕组升压变压器, 其 220kV 中性点经隔离刀闸及放电间隙接地, 其零序保护应按下列哪项配置? (2013)

- (A) 装设带两段时限的零序电流保护
(B) 装设带两段时限的零序电流保护、装设零序过电压保护
(C) 装设带两段时限的零序电流保护、装设反映零序电压和间隙放电电流的零序电流电压保护

(D) 装设两段零序电流保护、装设一套零序电流电压保护

答案: [D]

依据:《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006) 第 4.3.8.2 条、4.3.7.1 条。

4.3.8.2 分级绝缘变压器:为限制此类变压器中性点不接地运行时可能出现的中性点过电压。在变压器中性点应装设放电间隙。此时应装设用于中性点直接接地和经放电间隙接地的两套零序过电流保护。此外,还应增设零序过电压保护。用于中性点直接接地运行的变压器按 4.3.7.1 的规定装设保护。用于经间隙接地的变压器,装设反应间隙放电的零序电流保护和零序电压保护。当变压器所接的电力网失去接地中性点,又发生单相接地故障时,此电流电压保护动作,经 0.3~0.5s 时限动作断开变压器各侧断路器。

4.3.7.1 在中性点直接接地的电网中,如变压器中性点直接接地运行,对单相接地引起的变压器,应装设零序过电流保护,保护可由两段组成,其动作电流与相关线路零序过电流保护相配合,保护可设两个时限,并以较短时限动作于缩小故障影响范围,或动作于本侧断路器,以较长时限动作于断开变压器各侧断路器。

(15) 某变压器额定容量为 1250kVA、额定变比为 10/0.4kV,其对称过负荷保护的动作电流应整定为: (2013)

(A) 89A (B) 85A (C) 76A (D) 72A

答案: [A]

依据:《电力工程电气设计手册 电气二次部分》第 (29-130) 式,对称过负荷保护的的动作电流,按避越额定电流整定:

$$I_{dz} = \frac{K_k}{K_f} I_e \quad (29-130)$$

为此,先求出保护安装处的额定电流 $I_e = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{1250}{\sqrt{3} \times 10} \text{ A} \approx 72 \text{ A}$,再带入公式 (29-130) 有:

$$I_{dz} = \frac{K_k}{K_f} I_e = \frac{1.05}{0.85} \times 72 \text{ A} \approx 89 \text{ A}$$

分析:本题应该先确定保护安装处是在高压侧还是低压侧,根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》P616 第八条第 2 款,对双绕组降压变压器,过负荷保护装于高压侧。

2. 多项选择题

(1) 火力发电厂中,600MW 发变组接于 500kV 配电装置,对发电机定子绕组、变压器过电压,应装设下列的哪几种保护? (2011)

(A) 发电机过电压保护 (B) 发电机过励磁保护
(C) 变压器过电压保护 (D) 变压器过励磁保护

答案：[A、B、D]

依据：《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 4.2.1 条、第 4.2.13 条、第 4.3.12 条。

4.2.1 电压在 3kV 及以上，容量在 600MW 级及以下的发电机，应按本条的规定，对下列故障及异常运行状态，装设相应的保护。容量在 600MW 级以上的发电机可参照执行：

- a) 定子绕组相间短路；
- b) 定子绕组接地；
- c) 定子绕组匝间短路；
- d) 发电机外部相间短路；
- e) 定子绕组过电压；
- f) 定子绕组过负荷；
- g) 转子表层（负序）过负荷；
- h) 励磁绕组过负荷；
- i) 励磁回路接地；
- j) 励磁电流异常下降或消失；
- k) 定子铁芯过励磁；
- l) 发电机逆功率；
- m) 频率异常；
- n) 失步；
- o) 发电机突然加电压；
- p) 发电机起停；
- q) 其他故障和异常运行。

4.2.13 300MW 及以上发电机，应装设过励磁保护。保护装置可装设由低定值和高定值两部分组成的定时限过励磁保护或反时限过励磁保护，有条件时应优先装设反时限过励磁保护。

定时限过励磁保护：

低定值部分：带时限动作于信号和降低励磁电流。

高定值部分：动作于解列灭磁或程序跳闸。

反时限过励磁保护：

反时限特性曲线由上限定时限、反时限、下限定时限三部分组成。上限定时限、反时限动作于解列灭磁，下限定时限动作于信号。

反时限的保护特性曲线应与发电机的允许过励磁能力相配合。

汽轮发电机装设了过励磁保护可不再装设过电压保护。

4.3.12 对于高压侧为 330kV 及以上的变压器，为防止由于频率降低和/或电压升高引起变压器磁密过高而损坏变压器，应装设过励磁保护。保护应具有定时限或反时限特性并与被保护变压器的过励磁特性相配合。定时限保护由两段组成，低定值动作于信号，高定值动作于跳闸。

由 4.2.1 条第 e) 款可知 A 答案正确；由 4.2.13 条可知 B 答案正确；由 4.3.12 条可知 D 答案正确。

(2) 某地区计划建设一座发电厂，安装两台 600MW 燃煤机组，采用四回 220kV 线路并入同一电网，其余两回 220kV 线路是负荷线，主接线如图 10-1 所示。下列对于该电厂各电气设备继电保护及自动装置配置正确的是（ ）。(2011)

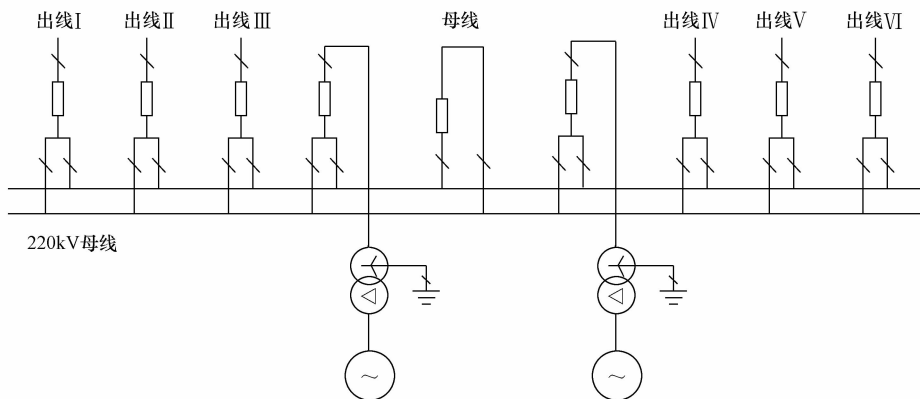


图 10-1 电气主接线

(A) 两台发电机组均装设定时限过励磁保护，其高定值部分动作于解列灭磁或程序跳闸

(B) 220kV 母线保护配置两套独立的、快速的差动保护

(C) 四回 220kV 联络线路装设检查同步的三相自动重合闸

(D) 两台主变压器不装设零序过电流保护

答案：[A、B]

依据：根据《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 4.2.13（见上题）、4.3.7.1、4.8.1、5.2.5.1 条。

4.3.7.1 在中性点直接接地的电网中，如变压器中性点直接接地运行，对单相接地引起的变压器过电流，应装设零序过电流保护，保护可由两段组成，其动作电流与相关线路零序过电流保护相配合。每段保护可设两个时限，并以较短时限动作于缩小故障影响范围，或动作于本侧断路器，以较长时限动作于断开变压器各侧断路器。

4.8.1 对 220kV ~ 500kV 母线，应装设快速有选择地切除故障的母线保护：

a) 对一个半断路器接线，每组母线应装设两套母线保护；

b) 对双母线、双母线分段等接线，为防止母线保护因检修退出失去保护，母线发生故障会危及系统稳定和使事故扩大时，宜装设两套母线保护。

5.2.5.1 并列运行的发电厂或电力系统之间，具有四条以上联系的线路或三条紧密联系的线路，可采用不检查同步的三相自动重合闸方式。

由 4.3.7.1 条可知 D 答案错误；由 4.8.1 条可知 B 答案正确；由 5.2.5.1 条可知 C 答案错误；由 4.2.13 条可知 A 答案正确。

(3) 某变电所 10kV 电容器组为中性点不接地星形接线装置，按规程应该装设下列哪些保护？(2008)

- (A) 电流速断保护 (B) 过励磁保护
(C) 中性点电压不平衡保护 (D) 过电压保护

▶ 答案：[A、C、D]

▶ 依据：《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 4.11.2、4.11.4、4.11.6 条。

4.11.2 对电容器组和断路器之间连接线的短路，可装设带有短时限的电流速断和过流保护，动作于跳闸。速断保护的動作电流，按最小运行方式下，电容器端部引线发生两相短路时有足够灵敏系数整定，保护的動作时限应防止在出现电容器充电涌流时误动作。过流保护的動作电流，按电容器组长期允许的最大工作电流整定。

4.11.4 当电容器组中的故障电容器被切除到一定数量后，引起剩余电容器端电压超过 110% 额定电压时，保护应将整组电容器断开。为此，可采用下列保护之一：

- a) 中性点不接地单星形接线电容器组，可装设中性点电压不平衡保护；
- b) 中性点接地单星形接线电容器组，可装设中性点电流不平衡保护；
- c) 中性点不接地双星形接线电容器组，可装设中性点间电流或电压不平衡保护；
- d) 中性点接地双星形接线电容器组，可装设反应中性点回路电流差的不平衡保护；
- e) 电压差动保护；
- f) 单星形接线的电容器组，可采用开口三角电压保护。

电容器组台数的选择及其保护配置时，应考虑不平衡保护有足够的灵敏度，当切除部分故障电容器后，引起剩余电容器的过电压小于或等于额定电压的 105% 时，应发出信号；过电压超过额定电压的 110% 时，应动作于跳闸。

不平衡保护动作应带有短延时，防止电容器组合闸、断路器三相合闸不同步、外部故障等情况下误动作，延时可取 0.5s。

4.11.6 对电容器组，应装设过电压保护，带时限动作于信号或跳闸。

(4) 变电所中对 35kV 干式并联电抗器应装设下列哪几种保护？(2008)

- (A) 电流速断及过电流保护 (B) 零序过电压保护
(C) 纵联差动保护 (D) 匝间短路保护

▶ 答案：[A、B]

▶ 依据：《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 4.12.8 条。

4.12.8 66kV 及以下干式并联电抗器应装设电流速断保护作电抗器绕组及引线相间短路的主保护；过电流保护作为相间短路的后备保护；零序过电压保护作为单相接地保护，动作于信号。

(5) 某 1600kVA 变压器高压侧电压为 10kV，绕组为星形-星形连接。低压侧中性点直接接地，对低压侧单相接地短路可采用下列哪些保护？（2013）

- (A) 接在低压侧中性线上的零序过电流保护
- (B) 利用高压侧的三相过电流保护
- (C) 接在高压侧中性线上的零序电流保护
- (D) 利用低压侧的三相电流保护

答案：[A、B]

依据：《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 4.3.10 条。

4.3.10 一次侧接入 10kV 及以下非有效接地系统，绕组为星形—星形接线，低压侧中性点直接接地的变压器，对低压侧单相接地应装设下列保护之一：

- a) 在低压侧中性点回路装设零序过电流保护；
- b) 灵敏度满足要求时，利用高压侧的相间过电流保护，此时该保护应采用三相式，保护带时限断开变压器各侧。

3. 案例题

题 1：某火力发电厂发电机额定功率为 600MW，额定电压为 20kV，额定功率因数为 0.9，发电机承担负序的能力：发电机长期允许（稳态） I_2 为 8%，发电机允许过热的时间常数（暂态）为 8s，发电机额定励磁电压为 418V，额定励磁电流为 4128A，空载励磁电压为 144V，空载励磁电流为 1480A，其发电机过负荷保护的整定见下列各题。（2012）

246

(1) 请说明发电机定子绕组对称过负荷保护定时限部分的延时范围，保护出口动作于停机、信号还是自动减负荷？正确的整定值为下列哪项？

- (A) 23.773kA
- (B) 41.176kA
- (C) 21.396kA
- (D) 24.905kA

答案：[A]

解答过程：1) 根据《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 4.2.8.2 条。

4.2.8.2 定子绕组为直接冷却且过负荷能力较低（例如低于 1.5 倍、60s），过负荷保护由定时限和反时限两部分组成。

定时限部分：动作电流按在发电机长期允许的负荷电流下能可靠返回的条件整定，带时限动作于信号，在有条件时，可动作于自动减负荷。

反时限部分：动作特性按发电机定子绕组的过负荷能力确定，动作于停机。

2) 根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》式（29-178）有：

$$I_{dz} = \frac{K_k I_{e.f}}{K_h} = \frac{1.05 \times 19.245}{0.85} \text{kA} \approx 23.773 \text{kA}$$

式中, $I_{e.f} = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \phi} = \frac{600}{\sqrt{3} \times 20 \times 0.9} \text{kA} = 19.245 \text{kA}$, 为发电机的额定电流。

- (2) 设发电机的定子绕组过电流为 1.3 倍, 发电机定子绕组的允许发热时间常数为 40.8s, 请计算发电机定子绕组对称过负荷保护的反时限部分动作时间为下列哪项? 并说明保护出口动作于停机、信号还是自动减负荷?

(A) 10s (B) 30s (C) 60s (D) 120s

答案: [C]

解答过程: 1) 根据《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006) 第 4.2.8.2 条。

2) 根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》式 (29-179) 有:

$$t = \frac{K}{I_1^2 - (1 + \alpha)} = \frac{40.8}{1.3^2 - (1 + 0.01)} \text{s} = 60 \text{s}$$

综上所述, C 为正确选项。

- (3) 对于不对称负荷, 非全相运行及外部不对称短路引起的负序电流, 需装设发电机转子表层过负荷保护, 设继电保护装置的返回系数 K_n 为 0.95, 请计算发电机非对称过负荷保护定时限部分的整定值为下列哪项?

(A) 1701A (B) 1702A (C) 1531A (D) 1902A

答案: [B]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》式 (29-180) 有:

$$I_{dz} = \frac{K_k}{K_n} I_{2\infty} = \frac{1.05}{0.95} \times 19245 \text{A} \times 8\% \approx 1702 \text{A}$$

247

- (4) 根据发电机允许负序电流的能力, 列出计算过程并确定下列发电机转子标称过负荷保护的反时限部分动作时间常数是哪个? 请回答保护在灵敏系数和时限方面是否与其他相间保护相配合, 为什么?

(A) 12.5s (B) 10s (C) 100s (D) 1250s

答案: [D]

解答过程: 1) 根据《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006) 第 4.2.9.2 条。

4.2.9.2 100MW 及以上 A 值小于 10 的发电机, 应装设定时限和反时限两部分组成的转子表层过负荷保护。

定时限部分: 动作电流按发电机长期允许的负序电流值和躲过最大负荷下负序电流滤波器的不平衡电流值整定, 带时限动作于信号。

反时限部分：动作特性按发电机承受短时负序电流的能力确定，动作于停机。保护应能反应电流变化时发电机转子的热积累过程。不考虑在灵敏系数和时限方面与其他相间短路保护相配合。

负序反时限过电流保护在灵敏度和动作时限方面不考虑与其他相间短路保护配合，保护动作于停机。

2) 根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》式(29-181)有

$$t = \frac{A}{I_{2*}^2} = \frac{8}{0.08^2} \text{s} \approx 1250 \text{s}$$

题 2: 某电网企业 110kV 变电站，两路电源进线，两路负荷出线（电缆线路），进线、出线对端均为系统内变电站，四台主变压器（电压比为 110/10.5kV）；110kV 为单母线分段接线，每段母线接一路进线，一路出线，两台主变；主变高压侧套管 CT 电流比为 3000/1A，其余 110kV CT 电流比均为 1200/1A。在最大运行方式下，110kV 三相短路电流为 18kA；在最小运行方式下，110kV 三相短路电流为 16kA。10kV 侧最大最小运行方式下三相短路电流接近，为 23kA，110kV 母线分段断路器装设自动投入装置，当一条电源线路故障断路器跳开后，分段断路器自动投入。（2012）

(1) 如果主变压器配置差动保护和过电流保护，请计算主变高压侧电流互感器的一次电流倍数为下列何值？（可靠系数取 1.3）

- (A) 2.38 (B) 9.51 (C) 19.5 (D) 24.91

答案：[D]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》式(20-9)有

$$m_{js} = \frac{K_k I_{d.\max}}{I_e} = \frac{1.3 \times 23000}{1200} \approx 24.91$$

(2) 如果 110kV 装设母线差动保护，请计算 110kV 线路电流互感器的一次电流倍数为（ ）（可靠系数取 1.3）？

- (A) 2.38 (B) 17.33 (C) 19.5 (D) 18

答案：[C]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》式(20-10)有

$$m_{js} = \frac{K_k I_{d.\max}}{I_e} = \frac{1.3 \times 18000}{1200} \approx 19.5$$

题 3: 某地区电网规划建设一座 220kV 变电所，电压为 220/110/10kV，主接线如图 10-2 所示。请解答下列问题。（2010）

(1) 该变电所 110kV 出线中有 1 回用户专线，有功电能表为 0.5 级，电压互感器回路电缆截面选择时，其压降应满足下列哪项要求？根据是什么？

- (A) 不大于额定二次电压的 0.25%
- (B) 不大于额定二次电压的 0.3%
- (C) 不大于额定二次电压的 0.5%
- (D) 不大于额定二次电压的 1.0%

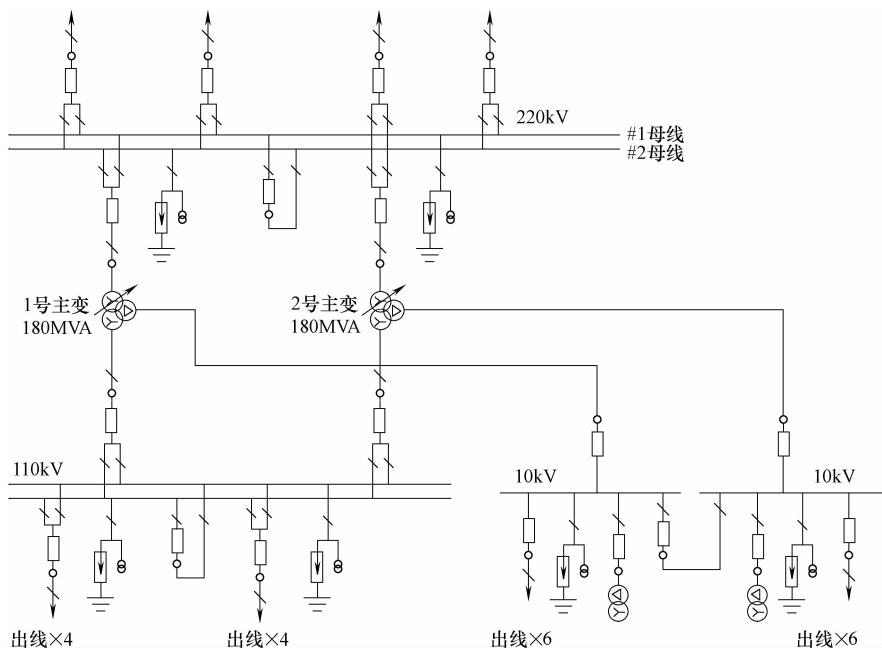


图 10-2 主接线

答案：[A]

解答过程：1) 根据《电测量及电能计量装置设计技术规程》(DL/T 5137—2001) 第 6.1.3 条、表 6.1.3，由有功电能表的准确度最低要求为 0.5 级可知，该电能计量装置的类别为 I 或 II 类。

6.1.3 电能计量装置准确度最低要求见表 6.1.3。

表 6.1.3 电能计量装置准确度最低要求

电能计量 装置类别	准确度最低要求级			
	有功电能表	无功电能表	电压互感器	电力互感器
I	0.5S 或 0.5	2.0	0.2	0.2S 或 0.2
II	0.5S 或 0.5	2.0	0.2	0.2S 或 0.2
III	1.0	2.0	0.2	0.5S 或 0.5
IV	2.0	3.0	0.5	0.5S 或 0.5
V	2.0	—	—	0.5S 或 0.5

注：0.2S 级、0.5S 指特殊用途的电流互感器，适用于负荷电流小，变化范围大（1% ~ 120%）的计量回路。

2) 根据《电测量及电能计量装置设计技术规程》(DL/T 5137—2001) 第 11.2.1 条第 2 款, 测量用电压互感器的二次回路允许电压降, 应符合以下规定: 测量用电压互感器的二次回路允许电压降应符合: I、II 类电能计量装置不大于额定二次电压的 0.25%。

(2) 该变电所 220kV 线路配置有全线速动保护, 其主保护的整组动作时间应为下列哪项? 并说明根据。

- (A) 对近端故障: $\leq 15\text{ms}$; 对远端故障: $\leq 35\text{ms}$ (不包括通道时间)
- (B) 对近端故障: $\leq 30\text{ms}$; 对远端故障: $\leq 20\text{ms}$
- (C) 对近端故障: $\leq 20\text{ms}$; 对远端故障: $\leq 30\text{ms}$ (不包括通道时间)
- (D) 对近端故障: $\leq 30\text{ms}$; 对远端故障: $\leq 50\text{ms}$

答案: [C]

解答过程: 根据《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006) 第 4.6.2.1 条第 f) 款: “对具有全线速动保护的 220kV 线路, 其主保护的整组动作时间应为: 对近端故障: $\leq 20\text{ms}$; 对远端故障: $\leq 30\text{ms}$ (不包括通道时间)。” 故本题选 C。

(3) 该变电所 110kV 出线中, 其中有 2 回线路为一个热电厂的并网线, 请确定该线路配置自动重合闸的正确原则为下列哪项? 并说明根据和理由。

- (A) 设置不检查同步的三相重合闸
- (B) 设置检查同步的三相重合闸
- (C) 设置同步检定和无电压检定的三相自动重合闸
- (D) 设置无电压检定的三相重合闸

答案: [C]

解答过程: 根据《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006) 第 5.2.5.2 条: “110kV 及以下双侧电源线路的自动重合闸装置, 按下列规定装设: 并列运行的发电厂或电力系统之间, 具有两条联系的线路或三条不紧密联系的线路, 可采用同步检定和无电压检定的三相重合闸方式。” 本题选 C。

(4) 统计本变电所应安装有功电能计量表数量为下列哪项? 并说明根据和理由。

- (A) 24 只
- (B) 30 只
- (C) 32 只
- (D) 35 只

答案: [C]

解答过程: 根据《电测量及电能计量装置设计技术规程》(DL/T 5137—2001) 第 6.2.1 条。

6.2.1 条 下列回路, 应计量有功电能且安装有功电能表数量:

主变压器: 三绕组变压器的三侧, 1#、2#主变的三侧共 6 只;

10kV 及以上线路: 24 回出线, 共 24 只;

所用电变压器的一侧: 10kV 所用变压器的一侧, 共 2 只。

由上述, 共需 $6 + 24 + 2 = 32$ 只。

分析: 规程规定, 旁路断路器, 母联 (或分段) 断路器兼旁路断路器回路应该装设

有功电能表，但本题中，只有 2 个母联断路器，1 个分段断路器，没有旁路断路器，母联断路器和分段断路器也没有兼旁路断路器使用，故不需要安装有功电能表。

(5) 当运行于#1 母线的一回 220kV 线路出口发生相间短路，且断路器拒动时，保护正确动作行为应该是下列哪项？并说明根据和理由。

- (A) 母线保护动作断开母联断路器
- (B) 断路器失灵保护动作无时限断开母联断路器
- (C) 母线保护动作断开连接在#1 母线上的所有断路器
- (D) 断路器失灵保护动作以较短时限断开母联断路器，再经一时限断开连接在#1 母线上的所有断路器

 **答案：** [D]

 **解答过程：** 根据《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285—2006）第 4.9.3.2 条：“220kV 双母线的失灵保护，视系统保护配置的具体情况，可以较短时限断开与拒动断路器相关的母联断路器，再经一时限断开与拒动断路器连接在同一母线上的所有有源支路的断路器。” 故选 D 为正确答案。

第十一章 直流系统

一、大纲要求 ★★★

- 1) 熟悉直流系统的设计要求；
- 2) 掌握蓄电池的选择及容量计算；
- 3) 掌握充电器的选择及容量计算；
- 4) 掌握直流设备的选择和布置设计；
- 5) 了解直流系统绝缘监测装置的选择及配置要求。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 20 分，其中专业知识占 10 分左右，案例占 10 分左右。考点集中，考试题目有一定难度。答题依据主要有《电力工程电气设计手册 电气二次部分》第二十四章、《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)。重点考查发电厂和变电站直流系统蓄电池个数选择、蓄电池容量计算（包括电压控制法和阶梯计算法）、直流设备的选择和布置、充电器额定计算、充电电源模块配置和数量选择以及直流电缆截面选择等。

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

- (1) 300MW 机组的火力发电厂，每台机组直流系统采用控制和动力负荷合并供电方式，设两组 220V 阀控蓄电池。蓄电池容量为 1800Ah，103 只。每组蓄电池供电的经常负荷为 60A。均衡充电时不与母线相连。在充电设备参数选择计算中下列哪组数据是不正确的？(2012)

- (A) 充电装置额定电流满足浮充电要求为 61.8A
- (B) 充电装置额定电流满足初充电要求为 180 ~ 225A
- (C) 充电装置直流输出电压为 247.2V
- (D) 充电装置额定电流满足均衡充电要求为 240 ~ 285A

答案：[D]

依据：《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录 C。

附录 C

C.1.1 充电装置额定电流选择

1 满足浮充电要求

铅酸蓄电池： $I_r = 0.01I_{10} + I_{jc}$

镉镍碱性蓄电池: $I_r = 0.01I_5 + I_{jc}$

2 满足初充电要求

铅酸蓄电池: $I_r = 1.0I_{10} \sim 1.25I_{10}$

镉镍碱性蓄电池: $I_r = 1.0I_5 \sim 1.25I_5$

3 满足均衡充电要求

铅酸蓄电池: $I_r = (1.0I_{10} \sim 1.25I_{10}) + I_{jc}$

镉镍碱性蓄电池: $I_r = (1.0I_5 \sim 1.25I_5) + I_{jc}$

当均衡充电的蓄电池组不与直流母线连接时, $I_{jc} = 0$ 。

式中:

I_r ——充电装置额定电流, A;

I_{jc} ——直流系统的经常负荷电流, A;

I_{10} ——铅酸蓄电池 10h 放电率电流, A;

I_5 ——镉镍碱性蓄电池 5h 放电率电流, A。

C. 1. 2 充电装置输出电压选择

$$U_r = nU_{cm}$$

式中:

U_r ——充电装置的额定电压, V;

n ——蓄电池组单体个数;

U_{cm} ——充电末期单体蓄电池电压, V (防酸式铅酸蓄电池为 2.70V, 阀控式铅酸蓄电池 2.40V, 镉镍碱性蓄电池为 1.70V)。

根据以上内容, 对于本题, 有

1) 满足浮充电要求的充电装置额定电流为

$$I_r = 0.01I_{10} + I_{jc} = (0.01 \times 180 + 60) \text{ A} = 61.8 \text{ A}$$

2) 满足初充电要求的充电装置额定电流为

$$I_r = 1.0I_{10} \sim 1.25I_{10} = (1.0 \times 180 \sim 1.25 \times 180) \text{ A} = 180 \sim 225 \text{ A}$$

3) 满足均衡电要求的充电装置额定电流为

$$I_r = (1.0I_{10} \sim 1.25I_{10}) + I_{jc} = [(180 \sim 225) + 0] \text{ A} = 180 \sim 225 \text{ A}$$

又根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录 C. 1. 2, 充电装置输出电压为

$$U_r = nU_m = 103 \times 2.4 \text{ V} = 247.2 \text{ V}$$

► 分析: 题干已指出, 均衡充电时, 蓄电池供电的经常负荷不与母线相连, 故均衡充电时的 I_{jc} 为 0。

(2) 按规程规定, 火力发电厂选择蓄电池容量时, 与电力系统连接的发电厂, 交流厂用电事故停电时间应按下列哪项计算? (2011)

- (A) 0.5h (B) 1h (C) 2h (D) 3h

答案：[B]

依据：《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 5.2.2 条。

5.2.2 事故停电时间

- 1 与电力系统连接的发电厂，厂用交流电源事故停电时间应按 1h 计算。
- 2 不与电力系统链接的孤立发电厂，厂用交流电源事故停电时间应按 2h 计算。
- 3 直流输电换流站，全站交流电源事故停电时间应按 2h 计算。
- 4 有人值班的变电所，全所交流电源事故停电时间应按 1h 计算。
- 5 无人值班的变电所，全所交流电源事故停电时间应按 2h 计算。

(3) 某变电所的直流系统中，用直流断路器和熔断器串级作为保护电器。直流断路器可装设在熔断器上一级，也可装设在熔断器下一级。如熔断器额定电流为 2A 时，为保证动作选择性，直流断路器装设在上一级或下一级时，其额定电流各宜选（ ）。(2011)

- (A) 4A、0.5A (B) 4A、1A (C) 8A、1.5A (D) 8A、1A

答案：[D]

依据：《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 6.1.3 条。

6.1.3 当直流断路器和熔断器串级作为保护电器时，宜按下列配合：

- 1 熔断器装设在直流断路器上一级时，熔断器额定电流应为直流断路器的 2 倍及以上。
- 2 直流断路器装设在熔断器上一级时，直流断路器的额定电流应为熔断器额定电流的 4 倍及以上。

(4) 某 220kV 变电所的直流系统中，有 300Ah 阀控式铅酸蓄电池两组，并配置三套高频开关电源模块作充电装置，如单个模块额定电流为 10A，每套高频开关电源模块最少选（ ）。(2011)

- (A) 2 块 (B) 3 块 (C) 4 块 (D) 6 块

答案：[B]

依据：根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）附录 C.2 方式 2 可知，一组蓄电池配置二组高频开关电源模块或二组蓄电池配置三组高频开关电源模块，其模块的选择方法如下：

对于铅酸蓄电池：

$$n = \frac{I_{10}}{I_{me}} = \frac{300/10}{10} = 3$$

(5) 某电力工程中，直流系统标称电压为 110V、2V 单体蓄电池浮充电电压为 2.23V、均衡充电电压为 2.33V、蓄电池放电末期终止电压为 1.87V。蓄电池个数选择符合规程要求的是（ ）。(2011)

- (A) 50 只 (B) 51 只 (C) 52 只 (D) 53 只

答案: [B]

依据:《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)附录 B 中 B.1.1 蓄电池个数选择,按浮充电运行时,直流母线电压为 $1.05U_n$ 选择蓄电池个数:

$$n = \frac{1.05U_n}{U_f} = \frac{1.05 \times 110}{2.23} = 51.79$$

可选 51 只和 52 只。又根据表 B.1,对于浮充电压为 2.23V,均充电压为 2.33V,终止放电电压为 1.87V 的蓄电池,蓄电池的个数为 51 只。

表 B.1 铅酸蓄电池组的单体 2V 电池参数选择参考数值表

系统标称 电压 V	浮充电压 V	2.15		2.23		2.25	
	均充电压 V	2.30		2.33		2.35	
220	蓄电池个数	106	107	103	104	102	103
	浮充时母线电压 V	227.90	230	229.70	231.90	229.50	231.75
	均充时母线电压% ^①	110.82	111.86	110	111.10	108.96	110
	放电终止电压 V	1.80	1.80	1.87	1.85	1.87	1.87
	母线最低电压% ^①	86.73	87.55	87.55	87.45	86.70	87.55
110	蓄电池个数	52	53	51	52	50	51
	浮充时母线电压 V	111.80	113.95	113.73	115.96	112.50	114.75
	均充时母线电压% ^①	108.73	110.82	108.03	110.15	106.82	109
	放电终止电压 V	1.83	1.80	1.87	1.85	1.87	1.87
	母线最低电压% ^①	86.51	86.73	86.70	87.46	85	86.70
48	蓄电池个数	22	23	22	23	22	23
	浮充时母线电压 V	47.30	49.45	49.06	51.29	49.50	51.75
	均充时母线电压% ^①	105.42	110.21	106.79	111.65	107.71	112.60
	放电终止电压 V	1.87	1.80	1.87	1.83	1.87	1.83
	母线最低电压% ^①	85.71	86.25	85.71	87.69	85.71	87.69
24	蓄电池个数	11	12	11		11	
	浮充时母线电压 V	23.65	25.80	24.53		24.75	
	均充时母线电压% ^①	105.42	115	106.79		107.71	
	浮充电压 V	2.15		2.23		2.25	
	均充电压 V	2.30		2.33		2.35	
	放电终止电压 V	1.87	1.75	1.87		1.87	
	母线最低电压% ^①	85.71	87.50	85.71		85.71	

① 表示对系统标称电压的百分比

(6) 某 110kV 变电所的直流系统标称电压 110V,该直流系统中任何一极的绝缘下降到下列哪组数据时,绝缘监察装置应发出灯光和音响信号?(2011)

- (A) 2 ~ 5kΩ (B) 15 ~ 20kΩ (C) 20 ~ 30kΩ (D) 20 ~ 25kΩ

答案: [A]

依据:《电力工程电气设计手册 电气二次部分》第 24-6 节直流系统的保护和信号回路中三“绝缘监察装置和电压监视装置”。

(7) 专供动力负荷的直流系统，在均衡充电运行和事故放电情况下，直流系统标称电压的波动范围应为下列哪项？（2008）

- (A) 85% (B) 85% ~ 112.5%
(C) 87.5% ~ 110% (D) 87.5% ~ 112.5%

 **答案：**[D]

 **依据：**《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 4.2.3、4.2.4 条。

4.2.3 在均衡充电运行情况下，直流母线电压应满足如下要求：

- 1 专供控制负荷的直流系统，应不高于直流系统标称电压的 110%；
- 2 专供动力负荷的直流系统，应不高于直流系统标称电压的 112.5%；
- 3 对控制负荷和动力负荷合并供电的直流系统，应不高于直流系统标称电压的 110%。

4.2.4 在事故放电情况下，蓄电池组出口端电压应满足如下要求：

- 1 专供控制负荷的直流系统，应不低于直流系统标称电压的 85%；
- 2 专供动力负荷的直流系统，应不低于直流系统标称电压的 87.5%；
- 3 对控制负荷和动力负荷合并供电的直流系统，宜不低于直流系统标称电压的 87.5%。

(8) 直流负荷按性质可分为经常负荷、事故负荷和冲击负荷三类，下列哪项是事故负荷？（2008）

- (A) 要求直流系统在正常工况下应可靠供电的负荷
(B) 断路器操作负荷
(C) 要求直流系统在交流电源系统事故停电时间内可靠供电的负荷
(D) 交流不间断电源设备（UPS），远动和通信装置的电源负荷

 **答案：**[C]

 **依据：**《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 5.1.2 条。

5.1.2 按性质分类

- 1 经常负荷：要求直流系统在正常和事故工况下均应可靠供电的负荷。
- 2 事故负荷：要求直流系统在交流电源系统事故停电时间内可靠供电的负荷。
- 3 冲击负荷：在短时间内施加的较大负荷电流。冲击负荷出现在事故初期（1min）称初期冲击负荷，出现在事故末期或事故过程中称随机负荷（5s）。

(9) 阀控式密封铅酸蓄电池组，在下列哪项容量以上时宜设专用蓄电池室？（2008）

- (A) 50Ah (B) 100Ah (C) 150Ah (D) 200Ah

 **答案：**[D]

依据：《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 8.2.1 条。

8.2.1 容量在 200Ah 以上时宜设专用的蓄电池室。专用蓄电池室宜布置在 0m 层。

(10) 下列对直流系统保护电器的配置要求中，哪项是不正确的？（2013）

- (A) 直流断路器和熔断器串联作为保护电器，直流断路器额定电流为 16A，上一级熔断器额定电流可取 32A
- (B) 直流断路器应具有电流速断和过电流保护
- (C) 直流馈线回路可采用熔断器和刀开关合一的刀熔开关
- (D) 直流断路器和熔断器串联作为保护电器，熔断器额定电流为 2A，上一级直流断路器额定电流可取 6A

答案：[D]

依据：《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 6.1.3 条、7.5.1 条、7.6.1 条。

6.1.3 当直流断路器和熔断器串联作为保护电器时，宜按下列配合：

- 1 熔断器装设在直流断路器上一级时，熔断器额定电流应为直流断路器额定电流的 2 倍及以上。
- 2 直流断路器装设在熔断器上一级时，直流断路器额定电流应为熔断器额定电流的 4 倍及以上。

7.5.1 直流断路器应具有速断保护和过电流保护功能。可带有辅助触点和报警触点。

7.6.1 直流回路采用熔断器作为保护电器时，应装设隔离电器，如刀开关，也可采用熔断器和刀开关合一的刀熔开关。

分析：D 答案应该改为上一级直流断路器额定电流可取 8A 及以上。

257

(11) 下列对直流系统接线的表述，哪一条是不正确的？（2013）

- (A) 2 组蓄电池的直流系统，应采用二段单母线接线，设联络电器，切换过程中允许 2 组蓄电池短时并联运行
- (B) 2 组蓄电池的直流系统，直流分电柜的 2 回直流电源应来自不同蓄电池组，可短时并联运行
- (C) 2 组蓄电池的直流系统，采用高频开关充电装置时，可配置 3 套充电装置
- (D) 发电厂网控系统中包括有 500kV 电气设备时，需独立设置 2 组蓄电池

答案：[B]

依据：《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 4.2.2 条第 1 款第 2) 点、4.3.2 条第 7 款、4.5.1 条第 2 款，第 4.6.4 条第 3 款第 1) 点。

4.2.2 充电装置

1 1组蓄电池：

- 1) 采用晶闸管充电装置时，宜配置2套充电装置；
- 2) 采用高频开关充电装置时，宜配置1套充电装置，也可配置2套充电装置。

2 2组蓄电池：

- 1) 采用晶闸管充电装置时，宜配置2套充电装置；
- 2) 采用高频开关充电装置时，宜配置2套充电装置，也可配置3套充电装置。

4.3.2 蓄电池组数

7 发电厂网络控制系统中包括有220kV及以上电气设备时，应独立设置不少于2组蓄电池对控制负荷和动力负荷供电。

4.5.1 母线接线方式

- 1 1组蓄电池的直流系统，采用单母线分段接线或单母线接线。
- 2 2组蓄电池的直流系统，应采用二段单母线接线，蓄电池组应分别接于不同母线段。二段直流母线之间应设联络电器。
- 3 2组蓄电池的直流系统，应满足在运行中二段母线切换时不中断供电的要求。切换过程中允许2组蓄电池短时并联运行。

4.6.4 直流分电柜的接线

3 2组蓄电池的直流系统

- 1) 对于具有双重化控制和保护回路要求双电源供电的负荷，分电柜应采用2段母线，2回直流电源可来自同一蓄电池，也可来自不同蓄电池组，并应防止2组蓄电池组并联运行。

2. 多项选择题

(1) 在发电厂的直流系统中，下列哪些负荷为控制负荷？(2012)

- (A) 电气和热工的控制、信号、测量负荷
- (B) 继电保护负荷
- (C) 断路器电磁操动的合闸机构负荷
- (D) 系统运动、通信装置的电源负荷

答案：[A、B]

依据：《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第5.1.1条把直流负荷按功能分为控制负荷和动力负荷。目的是考虑不同负荷的要求，便于设计中选择直流系统电压和蓄电池的容量。

5.1.1 按功能分类

- 1 控制负荷：电气和热工的控制、信号、测量和继电保护、自动装置等负荷。
- 2 动力负荷：各类直流电动机、断路器电磁操动的合闸机构、交流不停电电源装置、远动、通信装置的电源和事故照明等负荷。

(2) 某变电所的直流系统中有一组 200Ah 阀控式铅酸蓄电池, 此蓄电池出口回路的最大工作电流应按 1h 放电率 (I_{1h}) 不可取 ()。(2011)

- (A) $5.5I_5$ (B) $5.5I_{10}$ (C) $7.0I_5$ (D) $20I_5$

► 答案: [A、C、D]

► 依据: 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第 E.3.6 条。

E.3.6 蓄电池组出口回路

1 断路器额定电流按蓄电池的 1h 放电率电流选择, 即

$$I_n \geq I_{1h}$$

式中:

I_{1h} ——蓄电池 1h 放电率电流, A, 铅酸蓄电池可取 $5.5I_{10}$, 中倍率镉镍碱性蓄电池可取 $7.0I_5$, 高倍率镉镍碱性蓄电池可取 $20.0I_5$;

I_{10} ——铅酸蓄电池 10h 放电率电流, A;

I_5 ——镉镍碱性蓄电池 5h 放电率电流, A。

2 按保护动作选择性条件, 即额定电流应大于直流馈线中断路器额定电流最大的一台来选择, 即

$$I_n > K_{c4} I_{n, \max}$$

式中:

$I_{n, \max}$ ——直流馈线中直流断路器最大的额定电流, A;

K_{c4} ——配合系数, 一般可取 2.0, 必要时取 3.0。

取以上两种情况中电流最大者为断路器额定电流, 并应满足蓄电池出口回路短路时灵敏系数的要求。同时还应按事故初期 (1min) 冲击放电电流校验保护动作时间。

► 分析: 注意本题考查的是阀控式铅酸蓄电池。

(3) 某变电所的蓄电池室内布置了 4 排蓄电池。其中 2 排靠墙布置, 另 2 排合拢布置在中间。这蓄电池室的总宽度除包括 4 排蓄电池的宽度外, 要加的通道宽度可取 ()。(2011)

- (A) 800mm + 800mm (B) 800mm + 1000mm
(C) 1000mm + 1000mm (D) 1200mm + 1000mm

► 答案: [C、D]

► 依据: 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第 9.1.3 条: “蓄电池室内应设有运行和检修通道。通道一侧装设蓄电池时, 通道宽度不应小于 800mm; 两侧均装设蓄电池时, 通道宽度不应小于 1000mm。”

(4) 电力工程的直流系统中, 常选择高频开关电源整流装置作为充电设备, 下列哪些要求属于高频开关电源模块的基本性能? (2011)

- (A) 均流 (B) 稳压
(C) 功率因数 (D) 谐波电流含量

答案：[A、C、D]

依据：《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 7.2.1 条。

7.2.1 充电装置的技术特性要求

- 1 应满足蓄电池组的充电和浮充电要求。
- 2 应为长期连续工作制。
- 3 充电装置应具有稳压、稳流及限流性能。
- 4 应具有自动和手动浮充电、均衡充电和稳流、限流充电等功能。
- 5 充电装置的交流电源输入宜为三相制，额定频率为 50Hz，额定电压为 $380(1 \pm 10\%) \text{ V}$ 。小容量充电装置的交流电源输入电压可采用单相 $220(1 \pm 10\%) \text{ V}$ 。
- 6 1 组蓄电池配置 1 套充电装置的直流系统，充电装置的交流电源宜设 2 个回路，运行中 1 回路工作，另 1 回路备用。当工作电源故障时，应自动切换到备用电源。
- 7 充电装置的主要技术参数应满足表 7.2.1 的要求。
- 8 高频开关电源模块选择和配置要求（参见附录 C.2）。
- 9 高频开关电源模块基本性能要求如下：
 - 1) 均流：在多个模块并联工作状态下运行时，各模块承受的电流应能做到自动均分负载，实现均流；在 2 台及以上模块并联运行时，其输出的直流电流为额定值时，均流不平衡度应不大于 $\pm 5\%$ 额定电流值。
 - 2) 功率因数：功率因数应不小于 0.90。
 - 3) 谐波电流含量：在模块输入端施加的交流电源符合标称电压和额定频率要求时，在交流输入端产生的各高次谐波电流含有率应不大于 30%。
 - 4) 振荡波抗扰度：应能承受 GB/T 17626.12—1998 表 2 中规定的三级的振荡波抗扰度。
 - 5) 静电放电抗扰度：应能承受 GB/T 17626.2—1998 表 2 中规定的三级的静电放电抗扰度。

表 7.2.1 充电装置的主要技术参数表

型式 项目	晶 闸 管		高频开关
	I 型	II 型	
稳压精度	$\leq \pm 0.5\%$	$\leq \pm 1\%$	$\leq \pm 0.5\%$
稳流精度	$\leq \pm 1\%$	$\leq \pm 2\%$	$\leq \pm 1\%$
波纹系数	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq 0.5\%$
效率	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	$\geq 90\%$
噪声	$< 60\text{db}$	$< 60\text{db}$	$< 55\text{db}$

(5) 直流系统不设微机监控时，直流柜上应装设下列哪些常测表计？（2008）

- (A) 蓄电池回路和充电装置输出回路应装设直流电压表
(B) 蓄电池回路和充电装置输出回路应装设直流电流表
(C) 直流主母线上应装设直流电压表

(D) 直流主母线上应装设直流电流表

▶ 答案：[A、B、C]

▶ 依据：《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第 6.2.1 条。

6.2.1 直流系统设有微机监控装置时，在直流柜上的直流表计可仅装设直流母线电压表。直流系统不设微机监控装置时，直流柜上应装设下列常测表计：

- 1 直流主母线、蓄电池回路和充电装置输出回路的直流电压表。
- 2 蓄电池回路和充电装置输出回路的直流电流表。

(6) 直流系统设计中，对隔离电器及保护电器有多项要求，下列哪些要求是正确的？(2013)

- (A) 蓄电池组应经隔离电器及保护电器接入直流系统
- (B) 充电装置应经隔离电器及保护电器接入直流系统
- (C) 试验放电设备应经隔离电器及保护电器接入直流主母线
- (D) 直流分电柜应有 2 回直流电源进线，电源进线应经隔离电器及保护电器接入直流母线

▶ 答案：[A、B]

▶ 依据：《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第 4.5.2 条、4.5.4 条、4.6.4 条。

4.5.2 蓄电池组和充电装置均应经隔离和保护电器接入直流系统。

1 直流系统为单母线分段接线时，蓄电池组及充电装置的连接方式如下：

- 1) 1 组蓄电池配置 1 套充电装置时，二者应接入不同的母线段；
- 2) 1 组蓄电池配置 2 套充电装置时，2 套充电装置应接入不同母线段。蓄电池组应跨接在 2 段母线上。
- 2 2 组蓄电池配置 2 套充电装置时，每组蓄电池及其充电装置应分别接入不同母线段。
- 3 2 组蓄电池配置 3 套充电装置时，每组蓄电池及其充电装置应分别接入不同母线段，第 3 套充电装置经切换器可对 2 组蓄电池进行充电。

4.5.4 每组蓄电池均应设有专用的试验放电回路。试验放电设备，应经隔离和保护电器直接与蓄电池组出口回路并接。该装置宜采用移动式设备。

4.6.4 直流分电柜的接线

- 1 直流分电柜应有 2 回直流电源进线，电源进线宜经隔离电器接至直流母线。
- 2 1 组蓄电池的直流系统，2 回直流电源宜来自不同母线段，对单母线接线可来自同一母线段，分电柜的直流母线可不分段；对于具有双重化控制盒保护回路要求双电源供电的负荷，分电柜应采用 2 段母线。

3 2 组蓄电池的直流系统

- 1) 对于具有双重化控制和保护回路要求双电源供电的负荷，分电柜应采用 2 段母线，2 回直流电源应来自不同的蓄电池组。并应防止 2 组蓄电池并联运行。
- 2) 对于不具有双重化控制和保护回路的供电负荷，2 回直流电源可来自同一组蓄电池，也可来自不同蓄电池组，并应防止 2 组蓄电池并联运行。

(7) 蓄电池充电装置额定电流的选择应满足下列哪些要求？（2013）

- (A) 满足初充电要求
(B) 满足均衡充电要求
(C) 满足核对性充电要求
(D) 满足浮充电要求

答案：[A、B、D]

依据：《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 7.2.2 条。

7.2.2 充电装置的选择

充电装置的额定电流的选择应满足下列条件：

- 1 应满足浮充电要求。浮充输出电流应按蓄电池自放电电流与经常负荷电流之和计算。
- 2 有初充要求的应能满足初充电要求。初充电的输出电流：
- 1) 铅酸蓄电池应按 $1.0I_{10} \sim 1.25I_{10}$ 选择。
- 2) 镉镍碱性蓄电池应按 $1.0I_5 \sim 1.25I_5$ 选择。
- 3 满足均衡充电要求，均衡充电的输出电流：
- 1) 铅酸蓄电池应按 $1.0I_{10} \sim 1.25I_{10}$ 并叠加经常负荷电流选择。
- 2) 镉镍碱性蓄电池应按 $1.0I_5 \sim 1.25I_5$ 并叠加经常负荷电流选择。
- 但当蓄电池脱离直流母线，单独运行均衡充电时，可不计入经常负荷电流。

3. 案例题

题 1：某地区新建两台 1000MW 超越临界火力发电机组，以 500kV 接入电网，每台机组设一组动力用 220V 蓄电池，均无端电池，采用单母线接线，两台机组的 220V 母线之间设联络电器，单体电池的浮充电压为 2.23V，均充电压为 2.33V，该工程每台机组 220V 直流负荷见表 11-1，电动机的起动电流倍数为 2。（2012）

表 11-1 机组 220V 直流负荷

序号	负荷名称	设备电流/A	负荷系数	计算电流	事故放电电流				
					1 min	30min	60min	90min	180min
1	氢密封油泵	37							
2	直流润滑油泵	387							
3	交流不停电电压	460							

(续)

序号	负荷名称	设备电流/A	负荷系数	计算电流	事故放电电流				
					1min	30min	60min	90min	180min
4	直流长明灯	1							
5	事故照明	36.3							
各阶段放电电流合计					$I_1 =$	$I_2 =$	$I_3 =$	$I_4 =$	$I_5 =$

(1) 220V 蓄电池的个数应选择 ()。

- (A) 109 个 (B) 104 个 (C) 100 个 (D) 114 个

答案: [B]

解答过程: 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录 B 的

B.1.1 蓄电池个数选择: 按浮充电运行时, 直流母线电压为 $1.05U_n$ 选择蓄电池个数:

$$n = \frac{1.05U_n}{U_f} = \frac{1.05 \times 220}{2.23} = 103.59$$

取 104 只。

(2) 根据给出的 220V 直流负荷表计算第 5 阶段的放电电流值为 ()

- (A) 37A (B) 691.2A (C) 921.3A (D) 29.6A

答案: [D]

解答过程: 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 表 5.2.3

的直流负荷统计计算时间表可得: 对 300MW 及以上机组, 氢密封油泵的事故放电持续时间为 3h; 对 600MW 及以上机组, 直流润滑油泵的事故放电时间为 1.5h; 对发电厂, 交流不间断电源设备的事故放电时间为 0.5h; 对大电厂, 直流照明灯的事故放电时间为 1h; 对发电厂, 事故照明的持续时间为 1h。故第 5 阶段的放电负荷只有氢密封油泵, 其设备电流为 37A, 再乘以负荷系数 0.8, 得到答案为 29.6A。

表 5.2.3 直流负荷统计计算时间表

序号	负荷名称		经常	事故放电计算时间					
				初期	持续/h				
				1min	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
1	信号灯、位置指示器和位置继电器	发电厂和有人值班变电所	√	√		√			
		无人值班变电所	√	√				√	
		换流站和孤立发电厂	√	√				√	
2	控制、保护、监控系统	发电厂和有人值班变电所	√	√		√			
		无人值班变电所	√	√				√	
		换流站和孤立发电厂	√	√				√	
3	断路器跳闸			√					
4	断路器自投(电磁操动机构)			√					
5	恢复供电断路器合闸								√
6	氢密封油泵	200MW 及以下机组		√		√			
		300MW 及以上机组		√					√
7	直流润滑油泵	25MW 及以下机组		√	√				
		50MW ~ 300MW 机组		√		√			
		600MW 及以上机组		√			√		

(续)

序号	负荷名称		经常	事故放电计算时间						
				初期	持续/h					随机
				1min	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	5s
8	交流不停电电源	发电厂		√	√					
		变电所	有人值班	√		√				
			无人值班	√				√		
		换流站和孤立发电厂		√				√		
9	DC/DC变换装置	有人值班变电所		√	√	√				
		无人值班变电所		√	√			√		
10	直流长明灯	发电厂和有人值班变电所		√	√	√				
		换流站和孤立发电厂		√	√			√		
11	事故照明	发电厂和有人值班变电所			√	√				
		换流站和孤立发电厂			√			√		
		无人值班变电所				√				

注：表中“√”表示具有该项负荷时，应予以统计的项目

(3) 若 220V 蓄电池各阶段的放电电流如下：

- 1) 0 ~ 1min: 1477.8A 2) 1 ~ 30min: 861.8A
 3) 30 ~ 60min: 534.5A 4) 60 ~ 90min: 497.1A
 5) 90 ~ 180min: 30.3A

蓄电池组 29min、30min 的容量换算系数分别为 0.67、0.66，请问第二阶段蓄电池的计算容量最接近哪个值？

- (A) 1319.69Ah (B) 1305.76Ah (C) 1847.56Ah (D) 932.12Ah

► 答案：[C]

► 解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录 B 的式 (B.9)、式 (B.12) 有：

第二阶段容量为

$$C_{C2} = K_K \left[\frac{I_1}{K_{C1}} + \frac{1}{K_{C2}} (I_2 - I_1) \right] = 1.4 \times \left[\frac{1477.8}{0.66} + \frac{861.8 - 1477.8}{0.67} \right] \text{Ah} \approx 1847.56 \text{Ah}$$

式中， K_{C1} 、 K_{C2} 为容量换算系数，题目已经给出。

(4) 若 220V 蓄电池各阶段的放电电流如上题所列，经计算选择蓄电池容量为 2500Ah，1h 终止放电电压为 1.87V，容量换算系数为 0.46，蓄电池至直流屏之间的距离为 30m，请问两者之间的电缆截面按满足回路压降要求时的计算值为下列哪项？（选用铜芯电缆）

- (A) 577mm² (B) 742mm² (C) 972mm² (D) 289mm²

► 答案：[B]

► 解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规定》(DL/T 5044—2004) 附录 B 的式 (B.9)，蓄电池 1h 放电率电流为

$$I_{ca1} = I_1 = \frac{C_{C1} K_C}{K_K} = \frac{2500 \times 0.46}{1.4} \text{A} = 821.4 \text{A}$$

由上题可知事故初期放电电流为 $I_{ca2} = 1477.8 \text{A}$ ，取 I_{ca1} 和 I_{ca2} 中的较大者为 I_{ca} 。

根据附录 D.1 的计算公式，按回路允许电压降计算电缆截面公式为

$$S_{cac} = \frac{\rho 2 L I_{ca}}{\Delta U_p} = \frac{0.0184 \times 2 \times 30 \times 1477.8}{2.2} \text{mm}^2 \approx 742 \text{mm}^2$$

题 2: 某 $2 \times 300 \text{MW}$ 火力发电厂，每台机组装设 3 组蓄电池，其中 2 组 110kV 蓄电池对控制负荷供电，另 1 组 220V 蓄电池对动力负荷供电。两台机组的 220V 直流系统间设有联络线。蓄电池选用阀控式密封铅酸蓄电池（贫液）（单体 2V ），浮充电压取 2.23V ，均衡充电电压取 2.3V 。 110V 系统蓄电池组选为 52 只， 220V 系统蓄电池组选为 103 只。现已知每台机组的直流负荷如下：

UPS	120kVA；
电气控制、保护电源	15kW；
热控控制经常负荷	15kW；
热控控制事故初期冲击负荷	5kW；
热控动力总电源	20kW（负荷系数取 0.6）；
直流长明灯	3kW；
汽机氢侧直流备用泵（起动电流倍数按 2 计）	4kW；
汽机空侧直流备用泵（起动电流倍数按 2 计）	10kW；
汽机直流事故润滑油泵（起动电流倍数按 2 计）	22kW；
6kV 厂用低电压跳闸	40kW；
400V 低电压跳闸	25kW；
厂用电源恢复时高压厂用断路器合闸	3kW；
励磁控制	1kW；
变压器冷却器控制电源	1kW；
请根据上述条件计算下列各题（保留两位小数）。(2011)	

(1) 请计算 110V 、 220V 单体蓄电池的事故放电末期终止电压为下列哪组数值？

- (A) 1.75V 、 1.83V (B) 1.75V 、 1.87V
 (C) 1.8V 、 1.83V (D) 1.8V 、 1.87V

答案：[D]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 B.1.3 条规定：

$$\text{对控制负荷：} U_m \geq 0.85 U_n / n = \frac{0.85 \times 110}{52} = 1.8 \text{V}$$

$$\text{对动力负荷：} U_m \geq 0.875 U_n / n = \frac{0.875 \times 220}{103} = 1.87 \text{V}$$

(2) 请计算 110V 蓄电池组的正常负荷电流最接近下列哪项数值？

(A) 92.73A (B) 169.09A (C) 174.55A (D) 188.19A

答案：[C]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 5.1.1 条规定：“控制负荷包括：电气和热工的控制、信号、测量和继电保护、自动装置等负荷；而动力负荷包括：各类直流电动机断路器电磁操动的合闸机构、交流不间断电源设备的装置、远动、通信装置的电源和事故照明等负荷。经常负荷是指在直流系统正常和事故工况下均应可靠供电的负荷，典型经常负荷应包括以下内容：长明灯；连续运行的直流电动机；整流器或逆变器；指示灯和光字牌；连续励磁的线圈；通信系统等。”

为此，本题首先统计 110V 所带的正常负荷：

电气控制、保护电源：15kW

热控控制经常电源：15kW

励磁控制：1kW

变压器风冷控制：1kW

对于这 4 种共计 32kW 的负荷，根据表 5.2.4，取负荷系数为 0.6，可得

$$I = \frac{32 \times 0.6}{110} \times 1000A = 174.55A$$

分析：本题的关键在于正确统计 110V 所带正常负荷。负荷统计表见表 11-2。

(3) 请计算 220V 蓄电池组事故放电初期 0 ~ 1min 的事故放电数值？

(A) 663.62A (B) 677.28A (C) 690.01A (D) 854.55A

答案：[B]

解答过程：直流负荷统计表见表 11-3。

表 11-2 工程初设 110V 直流控制负荷统计表

序号	负荷名称	装置容量/(kW/kV·A)	负荷系数	计算电流/A	经常电流/A	事故放电时间/min 及电流/A					随机
						初期	持续				
						1	1 ~ 30	30 ~ 60	60 ~ 90	90 ~ 180	
1	电气控制、保护电源	15	0.6	81.82	81.82	81.82	81.82	81.82			
2	热控控制经常负荷	15	0.6	81.82	81.82	81.82	81.82	81.82			
3	热控控制事故初期冲击负荷	5	0.6	27.27		27.27					
4	6kV 厂用低电压跳闸	40	0.6	218.18		218.18					
5	400V 低电压跳闸	25	0.6	136.36		136.36					
6	变压器冷却器控制电源	1	0.6	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45			
7	励磁控制	1	0.6	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45			
8	厂用电源恢复时 高压厂用断路器合闸	3	0.6	16.36							16.36
					I_{jc}	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_R
	电流统计/A				174.55	556.36	174.55	174.55	0	0	16.36

表 11-3 工程初设 220V 直流动力负荷统计表

序号	负荷名称	装置容量/(kW/kV·A)	负荷系数	计算电流/A	经常电流/A	事故放电时间/min 及电流/A					随机
						初期	持续				
						1	1 ~ 30	30 ~ 60	60 ~ 90	90 ~ 180	
1	UPS	120	0.6	327.27		327.27	327.27	327.27			
2	热控动力总电源	20	0.6	54.55	54.55	54.55	54.55	54.55			
3	直流长明灯	3	1	13.64	13.64	13.64	13.64	13.64			
4	汽机氢侧直流备用泵	4	0.8	14.55		29.09	14.55	14.55			
5	汽机空侧直流备用泵	10	0.8	36.36		72.73	36.36	36.36			
6	汽机直流事故润滑油泵	22	0.9	90		180	90	90			
					I_{jc}	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_R
	电流统计/A				68.19	677.28	536.37	536.37	0	0	16.36

220V 的动力负荷：

UPS 120kW 负荷系数为 0.6

热控动力总电源 20kW，负荷系数为 0.6

直流长明灯 3kW，负荷系数为 1.0

汽机氢侧直流备用泵 4kW，负荷系数为 0.8

汽机空侧直流备用泵 10kW，负荷系数为 0.8

汽机直流事故润滑油泵 22kW，负荷系数为 0.9

总负荷电流为

$$\frac{120 \times 0.6 + 20 \times 0.6 + 3 \times 1 + 4 \times 0.8 \times 2 + 10 \times 0.8 \times 2 + 22 \times 0.9 \times 2}{220} \times 1000A = 677.3A$$

分析：本题的关键在于弄清楚控制负荷和动力负荷的区分。

(4) 如该电厂 220V 蓄电池选用 1600Ah，配置单个模块为 25A 的一组高频开关电源，请计算需要的模块数为下列哪项？

- (A) 6 (B) 8 (C) 10 (D) 12

答案：[D]

解答过程：1) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录 C.2 中 C.2.1 高频开关电源模块配置和数量选择，方式 1：每组蓄电池配置一组高频开关电源模块，其模块的选择方法如下：

$$n = n_1 + n_2$$

2) 对铅酸蓄电池：

$$n_1 = \frac{1.0I_{10} \sim 1.25I_{10}}{I_{me}} + \frac{I_{jc}}{I_{me}} = \frac{1.0 \times \frac{1600}{10} \sim 1.25 \times \frac{1600}{10}}{25} + \frac{68.2}{25} = 9.128 \sim 10.73$$

附加模块 $n_2 = 2$ 。

3) $n = n_1 + n_2 = (9.128 \sim 10.73) + 2 = 11.128 \sim 12.73$ ，当模块数量不为整数时，可取临近值。故本题选 D。

(5) 蓄电池组选用 1600Ah，蓄电池出口与直流配电柜连接的电缆长度为 25m，求该电缆的截面应为下列哪项数值？（已知：铜电阻系数 $\rho = 0.0184 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ）

- (A) 141.61mm^2 (B) 184mm^2 (C) 283.23mm^2 (D) 368mm^2

答案：[D]

解答过程：1) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录 D 知，电缆截面应按电缆长期允许载流量和回路允许电压降两个条件选择。其计算公式如下：

$$S_{\text{cac}} = \frac{\rho 2LI_{\text{ca}}}{\Delta U_{\text{p}}}$$

式中， I_{ca} 取 $I_{1\text{h}}$ 和 I_{min} 冲击放电电流的较大值。

2) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第 E.3.6 条，对铅酸蓄电池出口回路可取

$$I_{1\text{h}} = 5.5I_{10} = 5.5 \times 160 \text{A} = 880 \text{A}$$

3) 按回路允许电压降计算有

$$S_{\text{cac}1} = \frac{\rho 2LI_{\text{ca}}}{\Delta U_{\text{p}}} = \frac{0.0184 \times 2 \times 25 \times 880}{1\% \times 220} \text{mm}^2 = 368 \text{mm}^2$$

4) 按事故初期 (1min) 冲击放电电流计算有

$$S_{\text{cac}2} = \frac{\rho 2LI_{\text{ca}}}{\Delta U_{\text{p}}} = \frac{0.0184 \times 2 \times 25 \times 677.3}{1\% \times 220} \text{mm}^2 = 283.23 \text{mm}^2$$

5) 按规程规定，电缆截面应该取 $S_{\text{cac}1}$ 和 $S_{\text{cac}2}$ 中的较大值，故取 368mm^2 。故本题选 D。

题 3：某 220kV 变电所，直流系统标称电压为 220V，直流控制与动力负荷合并供电。已知变电所内经常负荷为 2.5kW；事故照明直流负荷为 3kW；设置交流不间断电源设备为 3kW。直流系统由两组蓄电池、两套充电装置供电，蓄电池组采用单体电压为 2V 的蓄电池，不设端电池。其他直流负荷忽略不计，请回答下列问题。(2010)

(1) 假设采用阀控式密封铅酸蓄电池，根据题目给出的条件，请计算电池个数为下列哪项数值？

- (A) 104 个 (B) 107 个 (C) 109 个 (D) 112 个

答案：[A]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第 7.1.2 条。

7.1.2 蓄电池浮充电压

蓄电池浮充电压应根据厂家推荐值选取，当无产品资料时可按：

1 防酸式铅酸蓄电池的单体浮充电电压值宜取 2.15V ~ 2.17V (GFD 型蓄电池宜取 2.17V ~ 2.23V)。

2 阀控式密封铅酸蓄电池的单体浮充电电压值宜取 2.23V ~ 2.27V。

3 中倍率镉镍碱性蓄电池的单体浮充电电压值宜取 1.42V ~ 1.45V。

4 高倍率镉镍碱性蓄电池的单体浮充电电压值宜取 1.36V ~ 1.39V。

对于本题，阀控式密封铅酸蓄电池 $U_f = 2.23 \sim 2.27V$ ，由附录 B 的 B.1.1 条可知，当按浮充电运行时，直流母线电压为 $1.05U_n$ 选择蓄电池个数按下式计算：

$$n = 1.05U_n / U_f = 1.05 \times 220 / (2.23 \sim 2.27) = 101.8 \sim 103.6。$$

(2) 假定本变电所采用铅酸式蓄电池，蓄电池组容量为 400Ah，不脱离母线均衡充电，请计算充电装置的额定电流为下列哪项数值？

- (A) 11.76A (B) 50A (C) 61.36A (D) 75A

答案： [B]

解答过程： 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录 C 的 C.1.1 条（见本章单项选择题第 (1) 题），铅酸蓄电池 10h 放电率电流 $I_{10} = 400/10A = 40A$ ，直流系统经常负荷电流为

$$I_{jc} = \frac{0.6 \times 2.5 \times 1000}{220} A = 6.816A$$

其中 0.6 为直流负荷统计负荷系数表，见表 5.2.4。

由附录 C 的 C.1.1 条第 3 款得：满足均衡充电的铅酸蓄电池的充电装置的额定电流应按下式计算

$$I_r = (1.0I_{10} \sim 1.25I_{10}) + I_{jc} = (46.816 \sim 56.816) A$$

故选 B 为正确答案。

表 5.2.4 直流负荷统计负荷系数表

序号	负荷名称	负荷系数	备注
1	信号灯、位置指示器和位置继电器	0.6	
2	控制、保护、监控系统	0.6	
3	断路器跳闸	0.6	
4	断路器自投(电磁操动机构)	0.5	
5	恢复供电断路器合闸	1.0	
6	氢密封油泵	0.8	
7	直流润滑油泵	0.9	
8	交流不停电电源装置	0.6	
9	DC/DC 变换装置	0.8	
10	直流长明灯	1.0	
11	事故照明	1.0	

注：事故初期（1min）的冲击负荷，按如下原则统计：

1) 备用电源断路器为电磁操动合闸机构时，应按备用电源实际自投断路器台数统计。

2) 低电压、母线保护、低频减载等跳闸回路按实际数量统计。

3) 电气及热工的控制、信号和保护回路等按实际负荷统计。

4) 事故停电时间内，恢复供电断路器电磁操动机构的合闸电流（随机负荷），应按断路器合闸电流最大的 1 台统计，并应与事故初期冲击负荷之外的最大负荷或出现最低电压时的负荷相叠加。

(3) 如该直流系统保护电气采用直流回路断路器时，判定下列哪项原则是正确的？并说明根据和理由。

- (A) 额定电压应大于或等于回路的标称电压
- (B) 额定电流应大于回路的最大工作电流
- (C) 直流电动机回路的断路器额定电流应按电动机起动电流选择

答案：[B]

解答过程：《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 7.5.2 条。

7.5.2 直流断路器选择（参见附录 E）

1 额定电压应大于或等于回路的最高工作电压。

2 额定电流应大于回路的最大工作电流。

1) 蓄电池出口回路应按蓄电池 1h 放电率电流选择。并按事故放电初期（1min）放电电流校验保护动作的安全性，且应与直流馈线回路保护电器相配合。

2) 断路器电磁操动机构的合闸回路，可按 0.3 倍额定合闸电流选择，但直流断路器过载脱扣时间应大于断路器固有合闸时间。

3) 直流电动机回路，可按电动机的额定电流选择。

3 断流能力应满足直流系统短路电流的要求。

4 各级断路器的保护动作电流和动作时间应满足选择性要求，考虑上、下级的配合，且应有足够的灵敏系数。

本题中，根据第 1 款可知 A 答案错误；根据第 2 款可知 B 答案正确；第 2 款第 3 点可知 C 答案错误。

(4) 在事故放电情况下蓄电池出口端电压和在均衡充电运行情况下的直流母线电压应满足下列哪组要求？请给出计算过程。

- (A) 不低于 187V，不高于 254V (B) 不低于 202.13V，不高于 242V
(C) 不低于 192.5V，不高于 242V (D) 不低于 202.13V，不高于 254V

答案：[C]

解答过程：1) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 4.2.3 条第 3 款：在均衡充电运行情况下的直流母线电压不应高于直流系统标称电压的 110%，即不高于 $110\% \times U_n = 242V$ 。

2) 根据第 4.2.4 条第 3 款：在事故放电情况下，蓄电池组出口端电压应满足如下要求：对控制负荷和动力负荷合并供电的直流系统，在均衡充电运行情况下的直流母线电压不应低于直流系统标称电压的 87.5%，即不低于 $87.5\% U_n = 0.875 \times 220 = 192.5V$ 。故本题选 C。

(5) 关于本变电所直流系统电压和接线的表述，下列哪项是正确的？并说明根据和理由。

- (A) 直流系统正常运行电压为 220V，单母线分段接线，每组蓄电池及其充电设备分别接于不同母线
(B) 直流系统标称电压为 220V，两段单母线接线，每组蓄电池及其充电设备分别接于不同母线
(C) 直流系统标称电压为 231V，单母线分段接线，蓄电池组和充电设备各接一段母线
(D) 直流系统正常运行电压采用 231V，双母线分段接线，蓄电池组和充电设备分别接于不同母线

答案：[B]

解答过程：1) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第

4.2.1 条可知对控制负荷和动力负荷合并供电的直流系统，直流系统标称电压采用 220V 或 110V，故首先排除 C 答案。

2) 根据第 4.5.1 条及第 4.5.2 条可知对于 2 组蓄电池的直流系统，应采用二段单母线接线，蓄电池组应分别接于不同母线段；2 组蓄电池配置 2 套充电装置时，每组蓄电池及其充电装置应分别接入不同母线段。故 A 答案接线形式错误，B 答案正确。

3) 根据第 4.5.1 条及第 4.2.2 条：在正常运行情况下，直流母线电压应为直流系统标称电压的 105%，即为 $105\% \times 220\text{V} = 231\text{V}$ ，故 D 答案的前半部分正确，但后半部分的接线形式错误。故本题的答案应为 B。

题 4：某火电厂，220 直流系统，每机组设阀铅酸电池，单母接线，两机组间有联络。
(2009)

(1) 不设保护回路的是 ()。

- (A) 蓄电池出口回路
- (B) 馈线
- (C) 直流分电柜电源进线
- (D) 蓄电池试验放电回路

答案：[C]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第 6.1.1 条：“蓄电池出口回路、充电装置直流侧出口回路、直流馈线回路和蓄电池试验放电回路等，应装设保护电器。” 故选 C 为正确答案。

(2) 阶梯法，每组蓄电池 2500Ah，103 只，1h 放电率 $I = 1375\text{A}$ ，10h 放电率 $I = 250\text{A}$ ，事故放电初 (1min) 冲击放电电流 1380A，电池组与直流柜电缆长 40m，允许电压降下，连接铜芯电缆最小截面为 ()。

- (A) 920mm^2
- (B) 167mm^2
- (C) 923mm^2
- (D) 1847mm^2

答案：[C]

解答过程：1) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录 D 第 D.1 条规定：电缆截面应按电缆长期允许载流量和回路允许电压降两个条件选择。按

电缆长期允许载流量： $I_{pc} \geq I_{ca1}$ ；按回路允许电压降选择电缆截面： $S_{cac} = \frac{\rho 2LI_{ca}}{\Delta U_p}$ 。

2) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 表 D.1 及表 D.2 得到： I_{ca} 取 I_{ca1} 和 I_{ca2} 中的较大者， I_{ca1} 为回路长期工作计算电流，对蓄电池回路取 1h 放电率电流，即 $I_{ca1} = 1375\text{A}$ ； I_{ca2} 为事故初期 (1min) 冲击放电电流，即 $I_{ca2} = 1380\text{A}$ ；故取 $I_{ca} = 1380\text{A}$ 。按照阶梯法蓄电池回路 ΔU_p 取 $1\% U_n = 1\% \times 220 = 2.2\text{V}$ ，代入公式有

$$S_{cac} = \frac{0.0184 \times 2 \times 40 \times 1380}{2.2} \text{mm}^2 = 923.34 \text{mm}^2$$

表 D.1 直流系统不同回路的计算电流 I_{ca}

回路名称	回路计算电流和计算公式	备注
蓄电池回路	$I_{ca1} = I_{d.1h}$	$I_{d.1h}$ ——蓄电池 1h 放电率电流
	$I_{ca2} = I_{ch0}$	I_{ch0} ——事故初期 (1min) 冲击放电电流

(续)

回路名称		回路计算电流和计算公式	备注
充电装置输出回路		$I_{ca1} = I_{ca2} = I_{cn}$	I_{cn} ——充电装置额定电流
直流馈线	直流电动机回路	$I_{ca1} = I_{nM}$ $I_{ca2} = I_{stM} = K_{stM} \cdot I_{nM}$	K_{stM} ——电动机起动电流系数 2.0 I_{stM} ——电动机起动电流 I_{nM} ——电动机额定电流
	电磁机构合闸回路	$I_{ca2} = I_{cl}$	I_{cl} ——合闸线圈合闸电流
	交流不停电电源输入回路	$I_{ca1} = I_{ca2} = I_{Un} / \eta$	I_{Un} ——装置的额定功率/直流系统标称电压 η ——装置的效率
	事故照明回路	$I_{ca1} = I_{ca2} = I_e$	I_e ——照明馈线计算电流
	控制、保护和信号回路	$I_{ca1} = I_{ca2} = I_{cc}$ $I_{ca1} = I_{ca2} = I_{cp}$ $I_{ca1} = I_{ca2} = I_{cs}$	I_{cc} ——控制馈线计算电流 I_{cp} ——保护馈线计算电流 I_{cs} ——信号馈线计算电流
	直流分电柜回路	$I_{ca1} = I_{ca2} = I_d$	I_d ——直流分电柜计算电流
DC/DC 变换器输入回路		$I_{ca1} = I_{ca2} = I_{Tn} / \eta$	I_{Tn} ——变换器的额定功率/直流系统标称电压 η ——变换器的效率

表 D.2 直流系统不同回路允许电压降 (ΔU_p) 计算公式

回路名称	允许电压降 ΔU_p (V)		备注
	电压控制法	阶梯算法	
蓄电池回路	$\Delta U_p \geq 1\% U_n$	$\Delta U_p \leq 1\% U_n$	U_n ——直流系统标称电压 U_{D0} ——蓄电池放电初期(1min)端电压 U_{Dm} ——蓄电池放电末期或某一严重放电(即最低电压)阶段末期端电压 K_1 ——电动机起动电压系数,取 $K_1 = 0.85$ K_2 ——电磁机构合闸电压系数,取 $K_2 = 0.85$ K_3 ——装置允许最低工作电压系数 $K_3 = 0.80$
直流分电柜回路	$\Delta U_p \geq 1\% U_n$	$\Delta U_p = 0.5\% U_n$ $\sim 1\% U_n$	
充电器输出回路	$\Delta U_p \geq 2\% U_n$	$\Delta U_p = 1.5\% U_n$ $\sim 2\% U_n$	
直流负荷馈线	直流电动机回路	$\Delta U_p = U_{D0} - K_1 U_n$ (计算电流取 I_{ca2}) $\Delta U_p = U_{Dm} - K_1 U_n$ (计算电流取 I_{ca1})	
	电磁机构合闸回路	$\Delta U_p = U_{Dm} - K_2 U_n$	
	交流不停电电源回路	$\Delta U_p = U_{Dm} - K_3 U_n$	
	事故照明回路	$\Delta U_p = U_{Dm} - K_3 U_n$	
	控制、保护和信号回路	$\Delta U_p = U_{Dm} - K_3 U_n$	
	DC/DC 变换器回路	$\Delta U_p = U_{Dm} - K_3 U_n$	

注 1. 对电压控制法,不同回路允许电压降 (ΔU_p) 应根据蓄电池容量选择中电压水平计算的结果来确定,一般均不小于阶梯算法所取数值。

2. 计算电磁机构合闸回路电压降,应保证最远一台断路器可靠合闸。在环形网络供电时,应按任一电源断开的最不利条件计算。

3. 对环形网络供电的控制、保护和信号回路的电压降,应按直流柜至环形网络最远断开点的回路计算。

(3) 直流母线馈为发电机灭磁断路器合闸, 合闸电流为 30A, 合闸时间为 200ms, 则馈线 ()。

- (A) 额定电流为 8A, 过载脱扣时间为 250ms
- (B) 额定电流为 10A, 过载脱扣时间为 250ms
- (C) 额定电流为 15A, 过载脱扣时间为 150ms
- (D) 额定电流为 30A, 过载脱扣时间为 150ms

► 答案: [B]

► 解答过程: 1) 根据《电力工程直流系统设计技术规定》(DL/T 5044—2004) 附录 E 第 E.3.3 条可知, 断路器电磁操作机构合闸回路的直流断路器的额定电流应满足下式:

$$I_n \geq K_{c2} I_{cl} = 0.3 \times 30A = 9A$$

2) 根据《电力工程直流系统设计技术规定》(DL/T 5044—2004) 第 7.5.2 条可知, 断路器电磁操作机构的合闸回路, 可按 0.3 倍额定合闸电流选择。但直流断路器过载脱扣时间应大于断路器固有合闸时间。故本题选 B。

题 5: 某新建电厂装有 $2 \times 300MW$ 机组, 选用一组 220V 动力用铅酸蓄电池容量 2000Ah, 二组控制用铅酸蓄电池容量 600Ah, 蓄电池布置在汽机房层, 直流屏布置在汽机房, 电缆长 28m。(2008)

(1) 请判断并说明下列关于正常情况下直流母线电压和事故情况下蓄电池组出口端的电压的要求哪条是不正确的?

- (A) 正常情况下母线电压为 110V, 系统为 115.5V
- (B) 正常情况下母线电压为 220V, 系统为 231V
- (C) 事故情况下 110V 蓄电池组出口端电压不低于 93.5V
- (D) 事故情况下 220V 蓄电池组出口端电压不低于 187V

► 答案: [D]

► 解答过程: 1) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第 4.2.1 条可知正常运行情况下, 专供控制负荷的直流系统, 其直流系统标称电压宜采用 110V; 专供动力负荷的直流系统其标称电压宜采用 220V。

2) 根据第 4.2.2 条: 正常运行情况下, 直流母线电压应为系统标称电压的 105%, 由以上两条可知答案 A、B 正确。

3) 根据第 4.2.4 条: 在事故放电情况下, 蓄电池出口电压应满足如下: ①专供控制负荷的直流系统, 应不低于直流系统标称电压的 85%, 即不低于 $110 \times 0.85V = 93.5V$; ②专供动力负荷的直流系统, 应不低于直流系统标称电压的 87.5%, 即不低于 $220 \times 0.875V = 192.5V$, 故本题选 D。

(2) 请按回路允许电压降, 计算动力用蓄电池至直流母线间最小电缆截面应为下列哪项数值?

- (A) $211mm^2$ (B) $303mm^2$ (C) $422mm^2$ (D) $566mm^2$

► 答案: [D]

● 解答过程：1) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第

E. 3.6 条：蓄电池 1h 放电率电流，对铅酸蓄电池可取 $5.5I_{10} = 5.5 \times \frac{2000}{10} \text{A} = 1100 \text{A}$ 。

2) 根据附录 D 中 D. 1、D. 2、表 D. 1 以及表 D. 2 得

$$S_{\text{cac}} = \frac{\rho 2LI_{\text{ca}}}{\Delta U_{\text{p}}} = \frac{0.0184 \times 2 \times 28 \times 1100}{1\% \times 200} \text{mm}^2 = 566.7 \text{mm}^2$$

式中， I_{ca} 对蓄电池回路取 1h 放电率电流和事故初期 (1min) 冲击放电电流两者的较大值。对本题而言，因事故初期 (1min) 冲击放电电流未知，故取为蓄电池回路取 1h 放电率电流。

D. 1 计算公式

电缆截面应按电缆长期允许载流量和回路允许电压降两个条件选择。其计算公式如下：

按电缆长期允许载流量： $I_{\text{pc}} \geq I_{\text{cal}}$

$$S_{\text{cac}} = \frac{\rho 2LI_{\text{ca}}}{\Delta U_{\text{p}}}$$

按回路允许电压降：

式中：

I_{pc} ——电缆允许载流量，A；

I_{ca} ——计算电流，A（见表 D. 1，取 I_{cal} 和 I_{ca2} 中的大者）；

I_{cal} ——回路长期工作计算电流，A；

I_{ca2} ——回路短时工作计算电流，A；

S_{cac} ——电缆计算截面， mm^2 ；

ρ ——电阻系数，铜导体 $\rho = 0.0184 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，铝导体 $\rho = 0.031 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ；

L ——电缆长度，m；

ΔU_{p} ——回路允许电压降，V（见表 D. 2）。

(3) 请说明下列关于直流系统的设备选择原则哪一项是错误的？

- (A) 蓄电池出口熔断器按蓄电池 1h 放电率电流选择并与馈线回路保护电器相配合
- (B) 直流电动机回路按电动机额定电流选择
- (C) 母线联络刀开关按全部负荷的 50% 选择
- (D) 直流断路器的断流能力应满足直流系统短路电流要求

● 答案：[C]

● 解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第 7.5.2、7.6.3、7.7.2 条。

7.5.2 直流断路器选择（参见附录 E）

- 1 额定电压应大于或等于回路的最高工作电压。
- 2 额定电流应大于回路的最大工作电流。

1) 蓄电池出口回路应按蓄电池 1h 放电率电流选择。并按事故放电初期 (1min) 放电电流校验保护动作的安全性, 且应与直流馈线回路保护电器相配合。

2) 断路器电磁操动机构的合闸回路, 可按 0.3 倍额定合闸电流选择, 但直流断路器过载脱扣时间应大于断路器固有合闸时间。

3) 直流电动机回路, 可按电动机的额定电流选择。

3 断流能力应满足直流系统短路电流的要求。

4 各级断路器的保护动作电流和动作时间应满足选择性要求, 考虑上、下级差的配合, 且应有足够的灵敏系数。

7.6.3 熔断器的选择

1 额定电压应大于或等于回路的最高工作电压。

2 额定电流应大于回路的最大工作电流。

1) 蓄电池出口回路应按蓄电池 1h 放电率电流选择, 并应与直流馈线回路保护电器相配合。

2) 断路器电磁操动机构的合闸回路, 可按 0.2 ~ 0.3 倍额定合闸电流选择, 但熔断器的熔断时间应大于断路器固有合闸时间。

3) 直流电动机回路, 可按电动机的额定电流选择。

3 断流能力应满足直流系统短路电流的要求。

4 应满足各级熔断器动作时间的选择性要求, 同时要考虑上、下级差的配合。

7.7.2 额定电流应大于回路的最大工作电流。

1 蓄电池出口回路应按蓄电池 1h 放电率电流选择。

2 断路器电磁操动机构的合闸回路, 可按 0.2 ~ 0.3 倍的额定合闸电流选择。

3 母线分段开关和联络回路, 可按全部负荷的 60% 选择。

对于本题, 由 7.5.2 第 3 款可知 D 答案正确; 由 7.6.3 条第 1) 款可知 A 答案正确, 由第 3) 款可知 B 答案正确; 由第 7.7.2 条第 3 款可知 C 答案错误。

(4) 直流系统按功能分为控制和动力负荷, 说明下列哪项属于控制负荷?

- (A) 电气和热工的控制、信号 (B) 交流不间断电源设备
(C) 断路器电磁操动的合闸机构 (D) 远动、通信装置的电源

▶ 答案: [A]

▶ 解答过程: 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第 5.1.1 条可知控制负荷包括电气和热工的控制、信号、测量和继电保护、自动装置等负荷; 而各类直流电动机、断路器电磁操动的合闸机构、交流不间断电源设备、远动、通信装置的电源和事故照明等负荷则属于动力负荷。

(5) 该厂直流系统有微机监控装置, 请说明直流柜上可装设下列哪项测量表计?

- (A) 直流母线电压表 (B) 蓄电池回路电压表
(C) 蓄电池回路电流表 (D) 充电输出回路电流表

答案：[A]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 6.2.1 条：“直流系统设有微机监控装置时，在直流柜上的测量表计可仅装设直流母线电压表。”

题 6：一座 66/10kV 重要变电站，装有容量为 16000kVA 的主变压器两台，采用蓄电池直流操作系统，所有断路器配电磁操作机构。控制、信号等经常负荷为 2000W，事故照明负荷为 1500W，最大一台断路器合闸电流为 98A，请根据设计规程解答下列问题。

(1) 关于变电所操作电源及蓄电池容量的选择，下列表述中哪一项是正确的？并说明其理由。

- (A) 重要变电所的操作电源，宜采用两组 110V 或 220V 固定铅酸蓄电池或镉镍蓄电池组。作为充电、浮充电用的硅整流装置宜合用一套
- (B) 变电所的直流母线，宜采用双母线接线
- (C) 变电所蓄电池组的容量应按全所事故停电期间的放电容量确定
- (D) 变电所蓄电池组的容量应按事故停电 1h 的放电容量及事故放电末期最大冲击负荷容量确定

答案：[D]

解答过程：根据《35 ~ 110kV 变电所设计规范》（GB 50059—2011）第 3.7.1、3.7.2、3.7.3、3.7.4 条。

3.7.1 变电所的直流母线，宜采用单母线或单母线分段的接线。采用单母线分段时，蓄电池应能切换至任一母线。

3.7.2 操作电源宜采用一组 110V 或 220V 蓄电池，不应设端电池。重要的 110kV 变电站，也可装设 2 组蓄电池。

蓄电池宜采用性能可靠、维护量少的蓄电池，冲击负荷较大时，亦可采用高倍率蓄电池。

3.7.3 充电装置宜采用高频开关充电装置。

采用高频开关充电装置时，宜配置一套具有热备用部件的充电装置，也可配置两套充电装置。

3.7.4 蓄电池组的容量，应符合下列要求：

- 1 有人值班变电站应为全站事故停电 1h 的放电容量。
- 2 无人值班变电站应为全站事故停电 2h 的放电容量。
- 3 应满足事故放电末期最大冲击负荷的要求。

由 3.7.1 条可知 B 答案错误；由 3.7.2 条可知 A 答案错误；由第 3.7.4 条可知 C 答案错误，D 答案正确。

(2) 本变电所选择一组 220V 铅酸蓄电池作为直流电源，若经常性负荷的事故放电容量为 9.09Ah，事故照明负荷放电容量为 6.82Ah，按满足事故全停电状态下持续放电容量要求，求蓄电池 10h 放电率计算容量 C_C 为下列哪一项？（其中可靠系数取 1.25，容量系数取 0.4）

(A) 28.4Ah (B) 21.31Ah (C) 49.72Ah (D) 39.77Ah

► 答案: [C]

► 解答过程: 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 式 (B.1) 有

$$C_C = K_K \frac{C_S \cdot x}{K_{CC}} = 1.25 \times \frac{6.82 + 9.09}{0.4} \text{Ah} = 49.72 \text{Ah}$$

(3) 若选择一组 10h 放电率标称容量为 100Ah 的 220V 铅酸蓄电池组作为直流电源, 计算事故放电初期 (1min) 冲击系数应为下列哪项数值? (可靠系数 $K_K = 1.10$)

(A) 0.99 (B) 0.75 (C) 1.75 (D) 12.53

► 答案: [C]

► 解答过程: 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 式 (B.2) 有

$$K_{cho} = K_K \frac{I_{cho}}{I_{10}} = 1.1 \times \frac{(2000 + 1500)/220}{100/10} = 1.75。$$

► 分析: 根据表 5.2.3, 断路器合闸电流不应计算在初期 1min 直流负荷里。

(4) 若选择一组 10h 放电率标称容量为 100Ah 的 220V 铅酸蓄电池组作为直流电源, 计算事故放电末期冲击系数应为下列哪项数值? (可靠系数 $K_K = 1.10$)

(A) 12.53 (B) 11.78 (C) 10.78 (D) 1.75

► 答案: [C]

► 解答过程: 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 式 (B.5) 有

$$K_{chm} = K_K \frac{I_{chm}}{I_{10}} = 1.1 \times \frac{98}{100/10} = 10.78$$

式中, I_{chm} 为事故放电末期随机 (5s) 冲击放电电流值, 单位为 A。

► 分析: 根据 DL/T 5044—2004 表 5.2.3, 恢复供电断路器合闸负荷属于随机 5s 负荷。

(5) 若选择一组蓄电池容量为 80Ah 的 220V 铅酸蓄电池作为直流电源, 断路器合闸电缆选用 VLV 型电缆, 电缆允许压降为 8V, 电缆的计算长度为 100m, 请计算断路器合闸电缆的计算截面为下列哪项数值? (电缆的电阻系数: 铜 $\rho = 0.0184 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, 铝 $\rho = 0.031 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

(A) 22.54mm² (B) 45.08mm² (C) 49.26mm² (D) 75.95mm²

► 答案: [D]

► 解答过程: 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录 D 的 D.1 条有

$$S_{cas} = \frac{\rho \cdot 2LI_{ca}}{\Delta U_p} = \frac{0.031 \times 2 \times 100 \times 98}{8} \text{mm}^2 = 75.95 \text{mm}^2$$

分析：VLV 为铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆。电缆计算截面经常出题，可参考前面案例题。

题 7：某企业 110kV 变电站直流系统电压为 110V，采用阀控式密封铅酸蓄电池组，无端电池，单体电池浮充电压为 2.23V，直流系统不带降压装置，充电装置采用一组 20A 的高频开关电源模块若干个，站内控制负荷、动力负荷合并供电。请回答下列问题。（供配电 2009）

(1) 该直流系统蓄电池组电池个数宜选择下列哪项？

- (A) 50 个 (B) 52 个 (C) 57 个 (D) 104 个

答案：[B]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）附录 B 的 B.1.1 条有

$$n = 1.05 \frac{U_n}{U_f} = 1.05 \times \frac{110}{2.23} = 51.79 \approx 52$$

分析：蓄电池个数选择经常出题。

(2) 事故放电末期，单个蓄电池的最低允许值为下列哪项数值？

- (A) 1.85V (B) 1.80V (C) 1.75V (D) 1.7V

答案：[A]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）附录 B 的 B.1.3 条知，对于控制负荷和动力负荷合并供电的蓄电池有

$$U_m \geq 0.875 \frac{U_n}{n} = 0.875 \times \frac{110}{52} \text{V} = 1.85 \text{V}$$

(3) 该变电站控制保护设备的经常负荷电流约为 50A，选择蓄电池容量为 300Ah，已知该类型电池的 10h 放电率 $I_{10} = 0.1C$ ，式中 C 为电池容量，请计算充电装置的 20A 高频开关电源模块数量接近下列哪项数值？

- (A) 3 个 (B) 6 个 (C) 9 个 (D) 12 个

答案：[B]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）附录 C 的 C.2 条有

$$n_1 = \frac{(1.0 \sim 1.25) I_{10}}{I_{me}} + \frac{I_{jc}}{I_{me}} = \frac{(1.0 \sim 1.25) \times 30}{20} + \frac{50}{20} = 4 \sim 4.375$$

$n_1 \leq 6$ ，取 $n_2 = 1$ ，则 $n = n_1 + n_2 = (4 \sim 4.375) + 1 = 5 \sim 5.375$ ，取 6 个。

(4) 假定充电装置额定电流为 125A，请选择充电装置回路的直流电流表测量范围是下列哪一项？

- (A) 0 ~ 80A (B) 0 ~ 100A (C) 0 ~ 150A (D) 0 ~ 200A

答案：[D]

► 解答过程：根据《电测量及电能装置的设计技术规程》（DL/T 5137—2001）第 5.1.6 条可知指针式测量仪表的测量范围，宜使电力设备额定值指示在仪表标度尺的 $2/3$ 左右，即 $200\text{A} \times 2/3 = 133\text{A}$ 。

(5) 如该变电站为无人值班变电所站，其事故照明用直流供电，那么在进行直流负荷统计计算时，对事故照明负荷的放电时间应按下列哪项数值计算？

- (A) 0.5h (B) 1h (C) 1.5h (D) 2h

► 答案：[B]

► 解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）表 5.2.3 可知无人值班变电所，事故照明放电时间为 1h。

题 8：1 座 110/10kV 有人值班的重要变电所，装有容量为 20MVA 的主变压器两台，采用 220V 铅酸蓄电池作为直流电源，所有断路器配电磁操作机构，最大一台断路器合闸电流为 98A。请解答下列问题。

(1) 下列关于该变电所所用电源和操作电源以及蓄电池容量选择的设计原则中，哪一项不符合规范的要求？并说明依据和理由。

- (A) 变电所的操作电源，采用一组 220V 固定铅酸蓄电池组，充电、浮充电用的硅整流装置合用一套
(B) 变电所的直流母线，采用单母线接线方式
(C) 变电所装设两台容量相同可互为备用的所用变压器
(D) 变电所蓄电池组的容量按全所事故停电 2h 的放电容量确定

► 答案：[D]

► 解答过程：根据《35 ~ 110kV 变电所设计规范》（GB 50059—2011）第 3.6.1、3.7.1、3.7.2、3.7.3、3.7.4 条（后面这 4 条见本章案例题 6 第（1）小题）。

3.6.1 在有两台及以上主变压器的变电站中，宜装设两台容量相同可互为备用的站用变压器，每台站用变压器容量应按全站计算负荷选择。两台占用变压器可分别取自主变压器最低电压级不同段母线。能从变电站外引入一个可靠地低压备用电源时，亦可装设一台站用变压器。

本题中，根据 3.6.1 条可知 C 答案正确；根据 3.7.1 条可知 A、B 答案正确；根据 3.7.4 条可知 D 答案错误。

(2) 该变电所信号、控制、保护装置容量为 3000W（负荷系数为 0.6），交流不间断电源设备容量为 220W（负荷系数为 0.6），事故照明容量为 1000W（负荷系数为 1），直流电源的经常负荷电流和事故放电容量为下列哪组？

- (A) 8.18A、13.33Ah (B) 8.18A、22.11Ah
(C) 8.78A、13.33Ah (D) 13.64A、19.19Ah

► 答案：[A]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 5.1.2 条可知，经常性负荷电流为

$$I = \frac{\alpha P}{U} = \frac{0.6 \times 3000}{220} \text{ A} = 8.18 \text{ A}$$

按不小于 1h 事故放电容量计可得事故放电容量为

$$C_{1h} = \frac{\alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 + \alpha_3 P_3}{U} h = \frac{0.6 \times 3000 + 0.6 \times 220 + 1 \times 1000}{220} \times 1 \text{ Ah} = 13.33 \text{ Ah}。$$

(3) 如该变电所经常性负荷的事故放电容量为 9.09Ah，事故照明等负荷的事故放电容量为 4.54Ah，按满足事故全停电状态下时间放电容量要求计算的蓄电池 10h 放电率计算容量为下列哪项？（可靠系数取 1.25、容量系数取 0.4）

- (A) 14.19Ah (B) 28.41Ah (C) 34.08Ah (D) 42.59Ah

答案：[D]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）式 (B.1) 有

$$C_C = K_K \frac{C_S \cdot x}{K_{CC}} = 1.25 \times \frac{4.54 + 9.09}{0.4} \text{ Ah} = 42.59 \text{ Ah}$$

(4) 该变电站选择一组 10h 放电标称容量为 100Ah 的 220V 铅酸蓄电池作为直流电源，若直流系统的经常负荷电流为 12A，请按满足浮充要求和均衡充电要求（蓄电池组与直流母线连接）分别计算充电装置的额定电流为下列哪组数值？

- (A) 12A、10~12.5A (B) 12A、22~24.5A
(C) 12.1A、10~12.5A (D) 12.1A、22~24.5A

答案：[D]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）附录 C 的 C1.1 条可知，浮充电额定电流：

$$I_r = 0.01 I_{10} + I_{jc} = \left(0.01 \times \frac{100}{10} + 12 \right) \text{ A} = 12.1 \text{ A}$$

均衡充电额定电流：

$$I_r = (1.0 \sim 1.25) I_{10} + I_{jc} = [(1.0 \sim 1.25) \times 10 + 12] \text{ A} = 22 \sim 24.5 \text{ A}$$

分析：需要明确蓄电池的类型，然后带入相应的公式计算。

(5) 该变电所的断路器合闸电缆选用 VLV 型电缆，回路的允许电压降为 8V，电缆的长度为 90m，按允许电压降计算断路器合闸回路电缆的最小截面为下列哪项？（电缆的电阻系数：铜 $\rho = 0.0184 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，铝 $\rho = 0.031 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ）

- (A) 34.18mm² (B) 40.57mm² (C) 68.36mm² (D) 74.70mm²

答案：[C]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）附录 D 的 D.1 条（见本章案例题题 4 第（2）小题）有

$$S_{\text{cas}} = \frac{\rho 2LI_{\text{ca}}}{\Delta U_{\text{p}}} = \frac{0.031 \times 2 \times 90 \times 98}{8} \text{mm}^2 = 68.36 \text{mm}^2$$

题 9: 某电力工程直流系统，标称电压为 **220V**，装设一组阀控式铅酸蓄电池（贫液吸附式）组，无端电池。该直流系统采用控制和动力合并供电方式，并配置一套高频开关电源充电装置，蓄电池至直流柜之间用铜芯电缆连接，该电缆长为 **100m**。请回答下列各题。

(1) 假定单体 **2V** 电池浮充电压为 **2.25V**，请计算蓄电池个数，单体蓄电池的均衡充电电压及事故放电末期终止电压应为下列哪组数值？

- (A) 102 个，2.42V，1.90V (B) 103 个，2.35V，1.87V
(C) 104 个，2.33V，1.90V (D) 105 个，2.30V，1.83V

► 答案：[B]

► 解答过程：1) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）附录 B 的 B.1.1 条，蓄电池个数按浮充电运行时，直流母线电压为 $1.05U_n$ 选择，即

$$n = 1.05 \frac{U_n}{U_f} = 1.05 \times \frac{220}{2.25} = 102.6 \approx 103$$

2) 根据附录 B 的 B.1.2 条，对于控制负荷和动力负荷合并供电的蓄电池，蓄电池均衡充电电压应满足

$$U_c \leq \frac{1.1U_n}{n} = \frac{1.1 \times 220}{103} \text{V} \approx 2.35 \text{V}$$

3) 根据附录 B 的 B.1.3 条，对于控制负荷和动力负荷合并供电的蓄电池，蓄电池终止放电电压应满足

$$U_m \geq \frac{0.875U_n}{n} = \frac{0.875 \times 220}{103} \text{V} \approx 1.87 \text{V}$$

(2) 假设蓄电池组单体 **2V** 电池个数为 **102** 个，放电终止电压为 **1.90V**，在事故放电的 **60min** 内，其直流负荷按时间分布见表 11-4。

表 11-4 按时间分布的直流负荷

事故放电持续时间/min	1(初期)	1~30	30~60
放电电流/A	800	400	200

请按阶梯法计算蓄电池容量应选用下列哪种容量规格？

- (A) 600Ah (B) 800Ah (C) 1000Ah (D) 1250Ah

► 答案：[C]

► 解答过程：1) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）附录 B 的式 (B.9)、式 (B.10)、式 (B.11)、式 (B.12)、式 (B.13) 有
第一阶段容量：

$$C_{C1} = K_K \frac{I_1}{K_C} = 1.4 \times \frac{800}{1.12} \text{Ah} = 1000 \text{Ah}$$

式中, K_C 为 1min 放电时的容量换算系数, 可由表 B.8 按终止放电电压查得。

第二阶段容量:

$$C_{C2} = K_K \left[\frac{I_1}{K_{C1}} + \frac{1}{K_{C2}} (I_2 - I_1) \right] = 1.4 \times \left(\frac{800}{0.676} + \frac{400 - 800}{0.685} \right) \text{Ah} \approx 839 \text{Ah}$$

式中, K_{C1} 、 K_{C2} 由表 B.8 按终止放电电压查得, 其中 K_{C1} 为全部放电时间的容量换算系数; K_{C2} 为各计算阶段除第一阶段放电时间的容量换算系数。

第三阶段容量:

$$\begin{aligned} C_{C3} &= K_K \left[\frac{I_1}{K_{C1}} + \frac{1}{K_{C2}} (I_2 - I_1) + \frac{1}{K_{C3}} (I_3 - I_2) \right] \\ &= 1.4 \times \left(\frac{800}{0.49} + \frac{400 - 800}{0.495} + \frac{200 - 400}{0.676} \right) \text{Ah} \approx 740 \text{Ah} \end{aligned}$$

式中, K_{C1} 、 K_{C2} 、 K_{C3} 由表 B.8 按终止放电电压查得, 其中 K_{C1} 为全部放电时间的容量换算系数; K_{C2} 为各计算阶段除第一阶段放电时间的容量换算系数; K_{C3} 为各计算阶段除第一、二阶段放电时间的容量换算系数。

2) 由于没有随机 (5s) 负荷, 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第 B.2.2.2 条第 2 款, 蓄电池容量为 1000Ah。

(3) 假定该直流系统蓄电池容量为 800Ah, 经常负荷电流为 80A, 高频开关电源单个模块额定电流为 20A。请计算充电装置额定电流及高频开关充电电源模块的个数应选择下列哪组数值?

- (A) 80A, 5 个 (B) 80.8A, 5 个 (C) 160A, 8 个 (D) 160A, 10 个

 答案: [D]

 解答过程: 由附录 C 的 C.1.1 条第 3 款得, 满足均衡充电的铅酸蓄电池的充电装置的额定电流应按下式计算:

$$I_r = 1.0I_{10} \sim 1.25I_{10} + I_{jc} = (1.0 \sim 1.25) \times 80\text{A} + 80\text{A} = [(80 \sim 100) + 80]\text{A} = 160 \sim 180\text{A}$$

1) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录 C 的 C.2.1 条高频开关电源模块配置和数量选择方式 1: 每组蓄电池配置一组高频开关电源模块, 其模块的选择方法如下:

$$n = n_1 + n_2$$

2) 对铅酸蓄电池:

$$n_1 = \frac{1.0I_{10} \sim 1.25I_{10}}{I_{me}} + \frac{I_{jc}}{I_{me}} = \frac{1.0 \times 80 \sim 1.25 \times 80}{20} + \frac{80}{20} = 8 \sim 9$$

附加模块 $n_2 = 2$ 。

3) $n = n_1 + n_2 = 10 \sim 11$, 当模块数量不为整数时, 可取临近值, 根据题目所给答案, 选 10 个。

 分析: 本题充电装置的额定电流按满足浮充电要求或者满足初充电要求计算, 则额定电流分别为 80.0A 和 80~100A, 但与后一问的模块数为 10 不匹配。

(4) 若蓄电池回路计算电流为 500A, 允许压降为 2.2V, 请按压降计算电缆截面最接近下列哪组数值?

- (A) 418mm² (B) 705mm² (C) 836mm² (D) 1409mm²

► 答案: [C]

► 解答过程: 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录 D 的 D.1 条, 按回路允许电压降计算电缆截面公式为

$$S_{\text{cac}} = \frac{\rho 2 L I_{\text{ca}}}{\Delta U_{\text{p}}} = \frac{0.0184 \times 2 \times 100 \times 500}{2.2} \text{mm}^2 \approx 836 \text{mm}^2$$

(5) 假定该直流蓄电池容量为 800Ah, 问下列蓄电池布置方式中哪一种是不合适的? 为什么?

- (A) 蓄电池室内台上立式安装 (B) 蓄电池室内钢架上倾斜式安装
(C) 直流电源成套装置柜内立式安装 (D) 蓄电池室内钢架上卧式安装

► 答案: [C]

► 解答过程: 1) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 第 8.2.2 条, 贫液吸附式的阀控式密封铅酸蓄电池, 可采用卧式、倾斜式或立式安装。

2) 根据第 7.10.2 条: 直流电源成套装置宜采用阀控式密封铅酸蓄电池、高倍率镉镍碱性蓄电池或中倍率镉镍碱性蓄电池。蓄电池的容量不宜太大, 对于阀控式铅酸蓄电池容量为 200Ah 及以下, 本题直流蓄电池容量为 800Ah, 故不宜采用直流电源成套装置。

题 10: 某企业 10kV 变电所, 装有容量为 20MVA 的主变压器两台, 2 回 110kV 出线 (GIS), 10kV 母线 2 段, 每段 15 回馈线, 计算机房监控, 有人值班, 请回答下列问题并列出解答过程。(供配电 2012)

(1) 关于直流负荷, 下列哪一项叙述是错误的?

- (A) 电气和热工的控制、信号为控制负荷
(B) 交流不停电装置负荷为动力负荷
(C) 测量和继电保护、自动装置负荷为控制负荷
(D) 断路器电磁操动的合闸机构为控制负荷

► 答案: [D]

► 解答过程: 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 5.1 条。

5.1 直流负荷分类

5.1.1 按功能分类

1 控制负荷: 电气和热工的控制、信号、测量和继电保护、自动装置等负荷。

2 动力负荷: 各类直流电动机、断路器电磁操动的合闸机构、交流不停电电源装置、远动、通信装置的电源和事故照明等负荷。

(2) 若变电所信号控制保护装置容量为 2500W, UPS 装置 3000W, 事故照明容量 1500W, 断路器操作负荷 800W, 各设备额定电压 220V, 功率因数取 1, 直流负荷的经常负荷电流, 0.5h 事故放电容量, 1h 事故放电容量为下列哪一项?

- (A) 6.82A 10.91Ah 21.82Ah (B) 6.82A 10.91Ah 32.73Ah
(C) 6.82A 12.2Ah 24.55Ah (D) 9.09A 12.05Ah 24.09Ah

答案：[A]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 表 5.2.3。
先根据各负荷事故放电时间确定各时段的放电电流。

经常负荷电流：变电所信号控制保护装置容量为 2500W

0.5 小时放电负荷：变电所信号控制保护装置容量为 2500W（经常）、UPS 装置 3000W（2 小时）、事故照明容量 1500W（1 小时）

1 小时放电负荷：变电所信号控制保护装置容量为 2500W（经常）、UPS 装置 3000W（2 小时）、事故照明容量 1500W（1 小时）

又根据表 5.2.4 有：

$$\text{经常负荷电流：} \frac{2500 \times 0.6}{220} \approx 6.82 \text{ A}$$

0.5h 事故放电容量：

$$\frac{2500 \times 0.6 + 3000 \times 0.6 + 1500 \times 1}{220} \times 0.5 \approx 10.9 \text{ Ah}$$

1h 事故放电容量：

$$\frac{2500 \times 0.6 + 3000 \times 0.6 + 1500 \times 1}{220} \times 1 \approx 21.8 \text{ Ah}$$

分析：断路器操作负荷仅在事故放电初期 1min 内存在，故在后面两问中均不计入。本题已知的均为以 W 为单位的负荷，但功率因素取 1，故有功负荷跟视在功率负荷是相等的。

(3) 如果该变电所事故照明事故停电放电容量为 44Ah，蓄电池采用阀控式铅酸蓄电池（胶体）（单体 2V）单个电池的放电终止电压 1.8V，则该变电所的蓄电池容量宜选择下列哪一项？

- (A) 80Ah (B) 100Ah
(C) 120Ah (D) 150Ah

答案：[C]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 表 B.10 查得 1 小时放电情况下（事故照明事故停电时间），终止电压为 1.8V，阀控式铅酸蓄电池（胶体）（单体 2V）的容量系数 $K_{cc} = 0.52$ 。根据 B.1 式有：

$$C_e = K_k \frac{C_{xx}}{K_{cc}} = 1.4 \frac{44}{0.52} \text{ Ah} = 118.46 \text{ Ah}$$

(4) 如果该变电所 220V 直流电源选用 220Ah 的 GF 型铅酸蓄电池，蓄电池的电池个数为 108 个，经常负荷电流为 15A，事故放电末期随机（5s）冲击放电电流值为 18A，事故放电初期（1min）冲击电流和 1h 事故放电末期电流均为 36A，请计算事故放电末期承受随机（5s）冲击放电电流的实际电压和事故放电初期 1min 承受冲击放电电流时实际电压为（查曲线时所需要数据取整数）

- (A) 197.6V/210.6V (B) 99.8V/213.8V
(C) 205V/216V (D) 217V/226.8V

答案: [C]

解答过程: 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录 B。

对于本题, 由式 B.4 得:

$$K_{m.s} = K_k \frac{C_{s.x}}{tI_{10}} = 1.1 \frac{1 \times 36}{1 \times 22} = 1.8$$

依据电流倍数 $K_{m.x}$ 值取 2.0 I_{10} 曲线。

由式 B.5 可得
$$K_{chm.x} = K_k \frac{I_{chm}}{I_{10}} = 1.1 \frac{18}{1 \times 22} = 0.9$$

依据图 B.1 查对应 2.0 I_{10} 曲线, 横坐标 0.9 时对应的曲线上的点的纵坐标, 取整后为 $U_d = 1.9V$, 则 $U_D = nU_d = 108 \times 1.9V = 205.2V$

事故放电初期 1min 承受冲击放电电流时的实际电压, 由式 B.2 得

$$K_{cho} = K_k \frac{I_{cho}}{I_{10}} = 1.1 \frac{36}{22} = 1.8$$

查图 B.1 中的 0 族曲线, 取整后得 $U_D = nU_d = 108 \times 2V = 216V$

B 2.1.3 电压水平计算

1 事故放电初期 (1min) 承受冲击放电电流时, 蓄电池所能保持的电压

$$K_{cho} = K_k \frac{I_{cho}}{I_{10}} \quad (B.2)$$

根据 K_{cho} 值, 由本附录图 B.1 ~ B.13 冲击曲线中的 “0” 曲线, 查出单体电池电压值 U_d , 则

$$U_D = nU_d \quad (B.3)$$

2 任意事故放电阶段末期, 承受随机 (5s) 冲击放电电流时, 蓄电池所能保持的电压

$$K_{m.x} = K_k \frac{C_{s.x}}{tI_{10}} \quad (B.4)$$

$$K_{chm.x} = K_k \frac{C_{chm}}{I_{10}} \quad (B.5)$$

由本附录图 B.1 ~ 图 B.13 冲击曲线中, 选定事故放电时间 0.5h, 1h 或 2h 后冲击放电曲线图, 然后根据 $K_{m.x}$ 值找出相应的曲线, 对应 $K_{chm.x}$ 值, 查出单体电池电压值 U_d , 则

$$U_D = nU_d \quad (B.6)$$

3 任意事故放电阶段末期, 蓄电池所能保持的电压

$$K_{m.x} = K_k \frac{C_{s.x}}{tI_{10}} \quad (B.7)$$

由本附录图 B.1 ~ 图 B.13 冲击曲线中, 根据 $K_{m.x}$ 值找出相应的曲线, 对应 $K_{chm.x} = 0$ 值, 查出单体电池电压值 U_d , 则

$$U_D = nU_d \quad (B.8)$$

(5) 如果该变电所 1h 放电容量为 20Ah，该蓄电池拟仅带控制负荷，蓄电池个数为 108 个，选用阀控式铅酸蓄电池（贫液）（单体 2V）则该变电所的蓄电池容量为（查表时放电终止电压据计算结果就近取值）

- (A) 65Ah (B) 110Ah (C) 140Ah (D) 150Ah

答案：[A]

解答过程：《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）B.1.3 条。

B.1.3 蓄电池终止放电电压选择

根据蓄电池个数及直流母线电压允许的最低值选择单体蓄电池事故放电末期终止电压。

对于控制负荷

$$U_m \geq \frac{0.85 \times 220}{108} \text{V} = 1.73 \text{V}$$

查表 B.8 得贫液电池 $K_{cc} = 0.615$ （有人值班变电所，放电时间取 1 小时）

$$C_c = K_k \frac{C_{sx}}{K_{cc}} = 1.4 \times \frac{20}{0.615} \text{Ah} = 46 \text{Ah}$$

分析：这几道蓄电池的计算题发输变还没有出现过，计算起来要结合图表，有一定难度，值得仔细研究一下。

题 11：某无人值守的 35/10kV 变电所，35kV 侧采用线路变压器组接线，10kV 侧采用单母线分段接线，设母联断路器；两台变压器同时运行、互为备用，当任一路电源失电或任一台变压器解列时，该路 35kV 断路器及 10kV 进线断路器跳闸，10kV 母联断路器自动投入（不考虑两路电源同时失电）。变电所采用蓄电池直接操作电源，电压等级为 220V，直流负荷中，信号装置计算负荷电流为 5A，控制保护装置计算负荷电流为 5A，应急照明（直流事故照明）计算负荷电流为 5A，35kV 及 10kV 断路器跳闸电流均为 5A，合闸电流均为 120A（以上负荷均已考虑负荷系数）。请解答下列有关操作电源的问题：（供配电 2013）

286

(1) 请计算事故全停电情况下，与之相对应的持续放电时间的放电容量最接近下列哪项数值？

- (A) 15Ah (B) 25Ah (C) 30Ah (D) 50Ah

答案：[B]

解答过程：根据《电力工程直流系统设计技术规定》（DL/T 5044—2004）表 5.2.3，无人值班变电所，信号、保护装置持续时间为 2h，事故照明持续时间为 1h，故所求放电容量为：(5 + 5) × 2 + 5 × 1 = 25Ah。

(2) 假定事故全停电情况下（全停电前充电装置与蓄电池浮充运行）。与之相对应的持续放电时间的放电容量为 40Ah，选择蓄电池容量为 150Ah，电池数为 108 块，采用阀控式贫液盐酸蓄电池。为了确定放电初期（1min）承受冲击放电电流时，蓄电池所能保持的电压，请计算事故放电初期系统 K_{cbo} 值，其结果最接近下列哪项数值？

- (A) 1.1 (B) 1.83 (C) 9.53 (D) 10.63

▶ 答案: [D]

▶ 解答过程: 根据《电力工程直流系统设计技术规定》(DL/T 5044—2004) 附录 B、B.2 式:

$$K_{\text{cho}} = K_K \frac{I_{\text{cho}}}{I_{10}} = 1.1 \times \frac{(5+5+5+5 \times 2 + 120)}{\frac{150}{10}} = 10.63$$

▶ 分析: 事故放电初期(1min)冲击放电电流值应该考虑所有的直流负荷, 包括断路器跳闸, 10kV 母线断路器自投等负荷。

(3) 假定事故全停电情况下, 与之相对应的持续放电时间的放电容量为 40Ah, 选择蓄电池容量为 150Ah, 电池数为 108 块, 采用阀控式贫液盐酸蓄电池。为了确定事故放电末期承受随机(5s)冲击放电电流时, 蓄电池所能保持的电压, 请分别计算任意事故放电阶段的 10h 放电率电流倍数 $K_{\text{m.x}}$ 值及 x_{h} 事故放电末期冲击系数 $K_{\text{chm.x}}$, 其结果最接近下列哪组数值?

- (A) $K_{\text{m.x}} = 1.47$, $K_{\text{chm.x}} = 8.8$ (B) $K_{\text{m.x}} = 2.93$, $K_{\text{chm.x}} = 17.6$
(C) $K_{\text{m.x}} = 5.5$, $K_{\text{chm.x}} = 8.8$ (D) $K_{\text{m.x}} = 5.5$, $K_{\text{chm.x}} = 17.6$

▶ 答案: [A]

▶ 解答过程: 根据《电力工程直流系统设计技术规定》(DL/T 5044—2004) 附录 B (B.4) 式和 (B.5) 式有

$$K_{\text{m.x}} = K_K \frac{C_{\text{s.x}}}{I_{10}} = 1.10 \times \frac{40}{2 \times 15} = 1.47$$

$$K_{\text{chm.x}} = K_K \frac{I_{\text{chm}}}{I_{10}} = 1.10 \times \frac{120}{15} = 8.8$$

(4) 假定选择蓄电池容量为 120Ah, 采用阀控式贫液盐酸蓄电池, 蓄电池组与直流母线连接, 不考虑蓄电池初充电要求, 请计算变电所充电装置的额定电流。其结果最接近下列哪项数值?(蓄电池自放电电流按最大考虑)

- (A) 15A (B) 20A (C) 25A (D) 30A

▶ 答案: [C]

▶ 解答过程: 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录 C 的 C.1.1 条, 铅酸蓄电池 10h 放电率电流 $I_{10} = 120/10\text{A} = 12\text{A}$, 直流系统经常负荷电流为 10A。根据 7.2.2 条, 充电装置的额定电流的选择应满足下列条件:

- 1 满足浮充电要求。浮充输出电流应按蓄电池自放电电流与经常负荷电流之和计算。
- 2 有初充要求的应满足初充电要求。初充电的输出电流:
 - 1) 铅酸蓄电池应按 $1.0I_{10} \sim 1.25I_{10}$ 选择;
 - 2) 镉镍碱性蓄电池应按 $1.0I_5 \sim 1.25I_5$ 选择。
- 3 满足均衡充电要求。均衡充电的输出电流:
 - 1) 铅酸蓄电池应按 $1.0I_{10} \sim 1.25I_{10}$ 并叠加经常负荷电流选择;

2) 镉镍碱性蓄电池应按 $1.0I_5 \sim 1.25I_5$ 并叠加经常负荷电流选择。

但当蓄电池脱离直流母线，单独进行均衡充电时，可不计入经常负荷电流。

具体计算公式由附录 C 给出。

由附录 C 的 C.1.1 条第 1 款得：满足浮充充电的铅酸蓄电池的充电装置的额定电流应按下式计算

$$I_{r1} = 0.01I_{10} + I_{jc} = 11\text{A}$$

由附录 C 的 C.1.1 条第 3 款得：满足均衡充电的铅酸蓄电池的充电装置的额定电流应按下式计算

$$I_r = (1.0I_{10} \sim 1.25I_{10}) + I_{jc} = (22 \sim 25)\text{A}$$

本题不考虑初充要求，因此考虑均衡充电的要求，取 25A。

题 12：某发电厂直流系统接线如下图 11-1 所示：（2013）

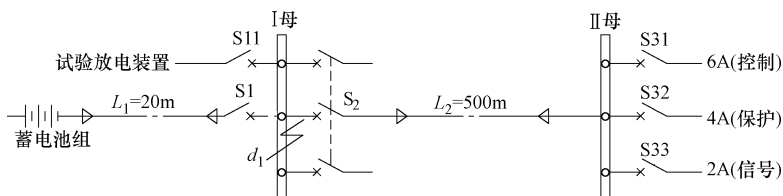


图 11-1

已知条件如下：

- 1) 铅酸免维护蓄电池组：1500Ah、220V、104 个蓄电池（含连接条的总内阻为 $9.67\text{m}\Omega$ 、单个蓄电池开路电压为 2.22V ）；
 - 2) 直流系统事故初期（1min）冲击放电电流 $I_{cho} = 950\text{A}$ ；
 - 3) 直流断路器系列为：4A、6A、10A、16A、20A、25A、32A、40A、50A、63A、80A、100A、125A、160A、180A、200A、225A、250A、315A、350A、400A、500A、600A、700A、800A、900A、1000A、1250A、1400A；
 - 4) I 母线上最大馈线断路器额定电流为 200A，II 母线上馈线断路器额定电流见上图；
 - 5) 铜电阻系数 $\rho = 0.0184\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ；S1 内阻忽略不计；
- 请根据上述条件计算下列各题（保留 2 位小数）；

(1) 按回路压降计算选择 L_1 电缆截面应为下列哪项数值？

- (A) 138.00mm^2 (B) 158.91mm^2
(C) 276.00mm^2 (D) 317.82mm^2

答案：[D]

依据：1) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）第 E.3.6 条，对铅酸蓄电池出口回路可取：

$$I_{1h} = 5.5I_{10} = 5.5 \times \frac{1500}{10} \text{ A} = 825 \text{ A}$$

2) 题目已知事故初期 (1min) 冲击放电电流为:

$$I_{cho} = 950 \text{ A}$$

3) 根据附录 D D.1 按回路允许电压降计算电缆截面:

$$S_{cac1} = \frac{\rho 2LI_{ca}}{\Delta U_p} = \frac{0.0184 \times 2 \times 20 \times 950}{1\% \times 220} \text{ mm}^2 \approx 317.8 \text{ mm}^2$$

分析: 有关直流系统电缆截面的选择多次出题。

(2) 计算并选择 S2 断路器的额定电流应为下列哪项数值?

- (A) 10A (B) 16A (C) 20A (D) 32A

答案: [A]

依据: 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) E.3.4 条, 对于控制、保护、信号回路的直流断路器额定电流可用下式计算:

$$I_n \geq K_c (I_{cc} + I_{cp} + I_{cs}) = 0.8 \times (6 + 4 + 2) \text{ A} = 9.6 \text{ A}, \text{取} 10 \text{ A}。$$

(3) 若 L_1 的电缆选择为 YJV-2 × (1 × 500 mm²) 时, 计算 d1 点的短路电流应为下列哪项数值?

- (A) 23.88kA (B) 22.18kA (C) 21.13kA (D) 20.73kA

答案: [A]

依据: 1) 先计算出蓄电池端子到直流母线的连接电缆的电阻:

$$r_j = \frac{\rho L}{S} = \frac{0.0184 \times 20}{1000} \Omega = 0.368 \text{ m}\Omega。$$

2) 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) G.1 蓄电池短路电流计算。

$$I_k = \frac{nU_0}{n(r_b + r_1) + r_j} = \frac{104 \times 104 \times 2.22}{104 \times 9.67 + 0.368} \text{ kA} \approx 23.86 \text{ kA}。$$

(4) 计算并选择断路器的额定电流应为下列哪项数值?

- (A) 150A (B) 400A (C) 500A (D) 1000A

答案: [D]

依据: 根据《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) E.3.6 条。

1) 断路器额定电流按蓄电池的 1h 放电率电流选择, 即

$$I_n \geq I_{1h} = 5.5I_{10} = 5.5 \times 150 \text{ A} = 825 \text{ A}。$$

2) 按保护动作选择性条件, 即额定电流应大于直流馈线中断路器额定电流最大的一台来选择, 即

$$I_n \geq K_{ch} I_{n, \max} = (2, 3) \times 200 \text{ A} = (400, 600) \text{ A}。$$

综上所述, 取 1000A 为断路器的额定电流。

(5) 计算并选择 S11 断路器的额定电流应为下列哪项数值

- (A) 150A (B) 180A (C) 825A (D) 950A

▶ 答案：[B]

▶ 依据：根据《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）7.4.1 条，对于铅酸蓄电池，实验放电回路装置的额定电流应为

$$1.10I_{10} \sim 1.30I_{10} = (1.10 \times 150 \sim 1.30 \times 150) \text{ A} = (165 \sim 195) \text{ A}$$

▶ 分析：2013 年直流的这几个题应该说中规中矩，都在直流技规中能找到依据。

第十二章 发电厂和变电所用电

一、大纲要求 ★★★

- 1) 熟悉厂（所）用电负荷的分类、电压选择；
- 2) 掌握厂（所）用电接线要求、备用方式和负荷配置原则；
- 3) 掌握厂（所）用电系统的计算和设备选择；
- 4) 熟悉厂（所）用电设备布置设计的一般要求；
- 5) 了解保安电源系统的设计；
- 6) 了解厂（所）用电系统的测量、保护、控制和自动装置；
- 7) 掌握 UPS 的选择。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 25 分，其中专业知识占 15 分左右，案例占 10 分左右。考点集中，考试题目有一定难度。答题依据主要有《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第三章、《水力发电厂厂用电设计规程》（DL/T 5164—2002）、《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）以及《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》（DL/T 5155—2002）。重点考查厂（所）用电接线型式、设备选择、配电装置、短路电流计算、继电保护灵敏度计算等方面的内容。

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

(1) 在水电厂动力中心（PC）和电动机控制中心（MCC）低压厂用电回路设计中塑壳断路器的功能是（ ）。(2012)

- (A) 隔离电器 (B) 保护电器
(C) 操作电器 (D) 保护和操作电器

▶ 答案：[D]

▶ 依据：《水力发电厂厂用电设计规程》（DL/T 5164—2002）第 9.4.1 条：“在重要的电动机的供电回路中，宜装设有隔离电器（用于隔离电源）、保护电器（用于分段短路电流）及操作电器（用于正常接通和开断回路），也可采用保护和操作合一的电器。其中隔离电器可采用隔离开关、插头等，保护电器可采用熔断器、断路器等。操作电器可采用接触器、磁力启动器、组合电器、断路器等。”断路器具有过载保护、过电流保护、欠电压保护等功能，因而属于保护电器，同时具有操作功能，因此也属于操作电器。

- (2) 有一台 300MW 机组的无励磁调压低压厂用变压器，容量为 1250kVA，变压器电抗 $U_d\% = 10$ ，有一台 200kW 的 0.38kV 电动机正常起动，此时 0.38kV 母线已带负荷 0.65（标么值），请计算母线电压是下列哪个值？（设 $K_q = 6$ ， $\eta_d = 0.95$ ， $\cos\varphi_d = 0.8$ ）（2012）

(A) 83% (B) 86% (C) 87% (D) 91%

答案：[C]

依据：《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）附录 H，对变压器有

$$X = 1.1 \frac{U_d\%}{100} \cdot \frac{S_{2T}}{S_T} = 1.1 \times \frac{10}{100} \times \frac{1250}{1250} = 0.11$$

根据附录 J，起动电动机的起动容量（标么值）为

$$S_q = \frac{K_q P_e}{S_{2T} \eta_d \cos\varphi_d} = \frac{6 \times 200}{1250 \times 0.95 \times 0.8} = 1.26$$

根据附录 J 的式 (J1)，电动机正常起动时电压为

$$U_m = \frac{U_0}{1 + SX} = \frac{1.05}{1 + (0.65 + 1.26) \times 0.11} \approx 0.87$$

- (3) 发电厂中的机组继电室内屏柜带有后开门，背对背布置时，屏背面至屏背面的最小屏间距离为下列哪项值？（2012）

(A) 800mm (B) 1000mm (C) 1200mm (D) 1400mm

答案：[B]

依据：《火力发电厂变电站二次接线设计技术规程》（DL/T 5136—2001）附录 B 注 4：“屏后开门时，屏背面至屏背面的通道尺寸不得小于 1000mm。”

- (4) 变电所中，220 ~ 380V 所用配电屏室内，跨越屏前的裸导体对地高度及屏后通道内裸导体对地高度分别不得低于（ ）。(2011)

(A) 2300mm、1900mm (B) 2300mm、2200mm
(C) 2500mm、2200mm (D) 2500mm、2300mm

答案：[D]

依据：《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》（DL/T 5155—2002）第 7.3.5 条。

7.3.5 所用配电屏内裸导电部分与各部分的净距，应符合下列要求：

1 屏后通道内，裸导电部分的高度低于 2.3m 时应加遮护，遮护后通道高度不应低于 1.9m；

2 跨越屏前、屏侧面通道的裸导电部分，其高度低于 2.5m 时应加遮护，遮护后通道高度不应低于 2.2m。

(5) 变电所中, 当用 21kVA、220V 单相国产交流电焊机作检修电源时, 检修电源回路的工作电流为 ()。(2011)

- (A) 153A (B) 77A (C) 15.32A (D) 7.7A

► 答案: [B]

► 依据: 根据《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002) 附录 E 的 E6 条及式 (E7) 有

$$I_g = \frac{S_e}{U_e} \cdot \sqrt{ZZ} \times 1000 = \frac{21}{220} \times \sqrt{0.65} \times 1000 \text{ A} = 76.96 \text{ A}$$

E6 检修电源回路

检修电源回路按使用单相交流电焊机考虑时

$$I_g = \frac{P_e}{U_e \cos \varphi} \cdot \sqrt{ZZ} \times 1000 \quad (\text{E6})$$

或

$$I_g = \frac{S_e}{U_e} \cdot \sqrt{ZZ} \times 1000 \quad (\text{E7})$$

式中 I_g ——检修电源回路工作电流 (A);

P_e 、 S_e ——单相电焊机额定功率、容量 (kW、kVA);

U_e ——额定电压 (V);

$\cos \varphi$ ——功率因数, 如无铭牌, 一般可取 0.5;

ZZ ——交流电焊机的暂载率, 国产焊机通常取 65%;

E6 通风机、水泵机电动机回路

$$I_g = \sum I_d \quad (\text{E8})$$

式中 I_g ——电动机回路工作电流 (A);

I_d ——单台电动机的额定电流 (A), 当缺乏资料时刻估算如下:

不大于 3kW 时, 可取 2.5A/kW; 当大于 3kW 时, 取 2A/kW。

(6) 发电厂中, 下列哪种类型的高压电动机应装设低电压保护? (2011)

- (A) 自起动困难, 需要防止自起动时间过长的电动机需装设低电压保护
- (B) 当单相接地电流小于 10A, 需装设接地故障检测装置时, 电动机要装设低电压保护
- (C) 当电流速断保护灵敏度不够时, 电动机需装设低电压保护
- (D) 对 I 类电动机, 为保证人身和设备安全, 在电源电压长时间消失后须自动切除时, 电动机需装设低电压保护

► 答案: [D]

► 依据: 《火力发电厂厂用电设计技术规定》(DL/T 5153—2002) 第 9.6.1 条。

9.6.1 采用断路器作为保护及操作电器的高压厂用异步电动机装设的低电压保护：

6 低电压保护

1) 对于Ⅰ类电动机，当装有自动投入的备用机械时、或为保证人身和设备安全，在电源电压长时间消失后须自动切除时，均应装设9s~10s时限的低电压保护，动作于断路器跳闸。

2) 为了保证接于同段母线的Ⅰ类电动机自起动，对不要求自起动的Ⅱ、Ⅲ类电动机和不能自起动的电动机宜装设0.5s时限的低电压保护，动作于断路器跳闸。

低电压保护整定值见表9.6.1。

表 9.6.1 低电压保护整定值

电动机分类	电压整定值(额定电压的百分数)	
	高压电动机	低压电动机
Ⅰ类电动机	45~50	40~45
Ⅱ、Ⅲ类电动机	65~70	60~70

(7) 发电厂主厂房内，动力控制中心和电动机控制中心采用互为备用供电方式时，应符合下列哪一规定？(2011)

- (A) 对接有Ⅰ类负荷的电动机控制中心的双电源应自动切换
- (B) 两台低压厂用变压器互为备用时，宜采用自动切换
- (C) 成对的电动机控制中心，应由对应的动力中心双电源供电
- (D) 75kW 及以下的电动机宜由动力中心供电

答案：[A]

依据：《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）第4.7.5条。

4.7.5 主厂房内低压电动机的供电方式，可采用明（专用）备用动力中心（PC）和电动机控制中心（MCC）的供电方式，也可采用暗（互为）备用动力中心（PC）和电动机控制中心（MCC）的供电方式。

1 明备用动力中心（PC）和电动机控制中心（MCC）的供电方式：

- 1) Ⅰ类电动机和75kW及以上的Ⅱ、Ⅲ类电动机，宜由动力中心直接供电。
- 2) 容量为75kW以下的Ⅱ、Ⅲ类电动机，宜由电动机控制中心供电。
- 3) 容量为5.5kW及以下的Ⅰ类电动机，如有2台，且互为备用时。可以由动力中心不同母线段上供电的电动机控制中心供电。
- 4) 电动机控制中心上接有Ⅱ类负荷时，应采用双电源供电（手动切换）；当仅接有Ⅲ类负荷时，可采用单电源供电。

2 暗备用动力中心（PC）和电动机控制中心（MCC）的供电方式：

- 1) 低压厂用变压器、动力中心和电动机控制中心宜成对设置，建立双路电源通道。

2 台低压厂用变压器间暗（互）备用，宜采用手动切换。

2) 成对的电动机控制中心，由对应的动力中心单电源供电。成对的电动机分别由对应的动力中心和电动机控制中心供电。

3) 容量为 75kW 及以上的电动机宜由动力中心供电，75kW 以下的电动机宜由电动机控制中心供电。

4) 对于单台的 I、II 类电动机应单独设立 1 个双电源供电的电动机控制中心，双电源应从不同的动力中心引接；对接有 I 类负荷的电动机控制中心双电源应自动切换，接有 II 类负荷的电动机控制中心双电源可手动切换。

(8) 某发电厂中，有一台 50/25-25MVA 的无励磁调压高压厂用变压器，低压侧电压为 6kV，变压器半穿越电抗 $U_d\% = 16.5$ ，接有一台 6500kW 的 6kV 电动机。电动机起动前 6kV 母线已带负荷 0.7（标么值）。请计算电动机正常起动时 6kV 母线电压应为下列哪项数值？（标么值）（设 $K_q = 6$ ， $\eta_d = 0.95$ ， $\cos\varphi_d = 0.8$ ）（2011）

- (A) 0.79 (B) 0.82 (C) 0.84 (D) 0.85

► 答案：[C]

► 依据：《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）式（J1）有

$$U_m = \frac{U_0}{1 + SX} = \frac{1.05}{1 + 2.753 \times 0.09} = 0.84$$

式中， $X = 1.1 \times \frac{U_d\% S_{2T}}{100 S_T} = 1.1 \times \frac{16.5}{100} \times \frac{25}{50} = 0.09$ ；

$$S_q = \frac{K_q P_e}{S_{2T} \eta_d \cos\varphi_d} = \frac{6 \times 6500}{25 \times 10^3 \times 0.95 \times 0.8} = 2.053$$

$$S = S_l + S_q = 0.7 + 2.053 = 2.753。$$

(9) 对单机容量为 300MW 的燃煤发电厂，其厂用电电压宜采用下列哪项组合？（2013）

- (A) 3kV、380V (B) 6kV、380V (C) 6kV、660V (D) 10kV、380V

► 答案：[B]

► 依据：《大中型火力发电厂设计规划》（GB 50660—2011）第 16.3.1 条。

16.3.1 火力发电厂的厂用电电压等级选择除应符合现行国家标准（标准电压）GB/T 156 的有关规定外，还应符合下列要求：

1 火力发电厂可采用 3kV、6kV、10kV 作为高压厂用电的电压。125MW 级 ~ 300MW 级的机组宜采用 6kV 一级高压厂用电源；600MW 级及以上的机组，可根据工程具体条件采用 6kV 一级、10kV 一级或 6kV、10kV 两级高压厂用电源。

2 200MW 级及以上的机组，主厂房内的低压厂用电系统宜采用动力与照明分开供电的方式。动力网络的电压宜采用 380V、380/220V。

(10) 在燃煤发电厂高压厂用电母线设置中，下列哪种表述是不正确的？(2013)

- (A) 高压厂用电母线应采用单母线接线
- (B) 锅炉容量在 230t/h 时，每台锅炉可设一段高压母线
- (C) 锅炉容量在 400 ~ 1000t/h 时，每台锅炉应由 2 段高压母线供电，2 段母线宜由 2 台变压器供电
- (D) 锅炉容量在 1000t/h 以上时，每一种高压母线应为 2 段

答案：[B]

依据：《大中型火力发电厂设计规范》(GB 50660—2011) 第 16.3.16 条。

16.3.16 高压、低压厂用母线的接线应符合下列规定：

- 1 高压厂用母线应采用单母线接线。每台锅炉每一级高压厂用电压不应少于 2 段母线。
- 2 低压厂用母线也应采用单母线接线。锅炉容量为 410t/h ~ 1000t/h，每台锅炉应至少设 2 段母线供电，双套辅助的电动机应分接于 2 段母线上，2 段母线可由 1 台变压器供电；锅炉容量为 1000t/h 级及以上时，每台锅炉应设置 2 段及以上母线，每段母线可由 1 台或 2 台变压器供电。

(11) 某电厂厂用电源由发电机出口经电抗器引接，若电抗器的电抗（标么值）为 0.3，失压成组自启动容量（标么值）为 1，则其失压成组自启动时的厂用母线电压应为下列哪项数值？(2013)

- (A) 70% (B) 81% (C) 77% (D) 85%

答案：[C]

依据：《火力发电厂厂用电设计技术规定》(DL/T 5153—2002) 附录 K（提示的附录）K1 条及公式 (K1)。

K1 电动机成组自启动时的厂用母线电压按式 (K1) 计算，算式中各标么值的基础电压取 0.38kV、3kV、6kV 或 10kV；对变压器基准容量取低压绕组的额定容量 S_{2T} (kVA)。

$$U_m = \frac{U_0}{1 + SX}$$

对于本题，代入数据后有：

$$U_m = \frac{U_0}{1 + SX} = \frac{1}{1 + 1 \times 0.3} \approx 0.77$$

(12) 当发电厂高压厂用电系统采用高电阻接地方式时，若采用由其供电的低压厂用变高压侧的中性点来实现，则低压变压器应选用下列哪种接线组别？(2013)

- (A) Yyn0 (B) Dyn11 (C) Dd (D) YNd1

▶ 答案: [B]

依据:《火力发电厂厂用电设计技术规定》(DL/T 5153—2002)第4.5.7条。

4.5.7 厂用变压器接线组别的选择,应使厂用工作电源与备用电源之间的相位一致,以使厂用电源的切换可采用并联切换的方式。低压厂用变压器宜采用 Dyn 的接线。

► 分析：根据《供配电系统设计规范》（GB 50052—2009）第 7.0.7 条，在低压电网中，宜选用 Dyn11 接线组别的三相变压器作为配电变压器，也可得到答案。

(13) 200MW 及以上容量的发电机组，其厂用备用电源快速自动投入装置，应采用具备下列哪种同步检定功能？（2013）

- (A) 相位差 (B) 电压差
(C) 相位差及电压差 (D) 相位差、电压差及频率差

▶ 答案: [C]

依据：《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》（DL/T 5136—2012）第 6.6.3 条第 5 款。

6.6.3 备用电源自动投入装置的接线应符合下列规定:

1 当采用慢速自动切换时,应保证工作电源断开后,可投入备用电源。对于200MW及以上容量的发电机厂用备用电源可采用同步检定的快速自动投入方式(串联切换和并联切换方式),当快速切换不成功时应能自动转为慢速切换(鉴定残压)。

2 任何原因引起运行的工作电源消失时, 备用电源自动投入装置均应尽快动作。

3 工作电源供电侧断路器跳闸后, 应联动其负荷侧断路器跳闸。

4 装设专门的低电压保护，当厂用工作母线电压降至 0.25 倍额定电压后，而备用电源电压在 0.7 倍额定电压以上时应自动断开工作电源负荷侧断路器。

5 200MW 及以上容量的发电机的厂用备用电源快速自动投入接线,应具有相位差及电压差的同步鉴定装置。装置的整定原则应使备用电压尽快自动投入,又不对电动机产生有害的冲击。

6 应设有投入或切除备用电源自动投入的选择回路。

7 备用电源自动投入装置应能保证只动作一次，且备用电源断路器的合闸脉冲应是短脉冲。

8 当在厂用母线速动保护动作或工作分支断路器限时速断或过电流保护动作时, 工作电源断路器由于手动跳闸 (或计算机监控跳闸) 时, 应闭锁备用电源自动投入装置。

● **分析：**根据《大中型火力发电厂设计规范》（GB 50660—2011）第 16.6.17 条并不能得到确定的答案。

16.6.17 200MW 及以上机组的高压厂用电源切换宜采用带同步检定的厂用电源快速切换方式。

2. 多项选择题

(1) 选择和校验高压熔断器串真空接触器时，下列规定哪些是正确的？(2012)

- (A) 高压限流熔断器不宜并联使用，也不宜降压使用
- (B) 高压熔断器的额定开断电流，应大于回路中最大预期短路电流冲击值
- (C) 在变压器架空线路组回路中，不应采用高压熔断器串真空接触器作为保护和操作设备

(D) 真空接触器应能承受和关合限流熔断器的切断电流

答案：[A、D]

依据：《火力发电厂厂用电设计技术规定》(DL/T 5153—2002) 第 7.2.3 条。

7.2.3 高压熔断器串真空接触器的选择：

1 高压熔断器应根据被保护设备的特性，选择专用的高压限流型熔断器。高压限流熔断器不宜并联使用，也不宜降压使用。

2 高压熔断器的额定开断电流应大于回路中最大预期短路电流周期分量有效值。

3 在架空线路和变压器架空线路组回路中，不宜采用高压熔断器串真空接触器作为保护和操作设备。

4 真空接触器应能承受和关合限流熔断器的切断电流。

具体选择方法详见《高压熔断器串真空接触器回路设计技术规定》。

分析：其中 B 答案应该改为应大于回路中最大预期短路电流周期分量有效值。C 答案应该改为不宜采用高压熔断器串真空接触器作为保护和操作设备。

(2) 某变电所的所用配电屏成排布置，成排长度为下列哪几种时，屏后通道需设两个出口？(2012)

- (A) 5m
- (B) 6m
- (C) 8m
- (D) 10m

答案：[C、D]

依据：《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002) 第 7.3.4 条：“成排布置的所用配电屏，其长度超过 6m 时，屏后的通道应设两个出口，并宜布置在通道的两端，当两个出口之间的距离超过 15m 时，尚应增加出口。”

(3) 在选择厂用电系统中性点接地方式时，下列哪些规定是正确的？(2012)

(A) 当高压厂用电系统接地电容电流小于或等于 $10/\sqrt{2} = 7\text{A}$ 时，宜采用高电阻接地方式

(B) 当高压厂用电系统接地电容电流小于或等于 7A 时，可采用不接地方式

(C) 当高压厂用电系统接地电容电流大于 7A 时，宜采用低电阻接地方式

(D) 低压厂用电系统不应采用三相三线制，中性点经高阻接地方式

答案：[A、B、C]

依据：《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）第 4.2.1 条：“当高压厂用电系统的接地电容电流小于或等于 $\frac{10}{\sqrt{2}} = 7$ 时，其中性点宜采用高电阻接地方式，也可采用不接地方式；当接地电容电流大于 7A 时，其中性点宜采用低电阻接地方式，也可采用不接地方式。

中性点接地设备的选择计算方法可参照附录 C（提示的附录）。”

分析：根据第 4.2.2 条，主厂房内的低压厂用电系统宜采用三相三线制，中性点经高电阻接地的方式。故 D 答案错误。

(4) 变电所中，所用电低压系统接线方式，下列哪些原则是错误的？（2011）

- (A) 采用 380V、三相四线制接线，系统中性点可通过电阻接地
- (B) 采用 380/220V、三相四线制接线，系统中性点直接接地
- (C) 采用 380V、三相制接线
- (D) 采用 380/220V、三相四线制接线，系统中性点经避雷器接地

答案：[A、C、D]

依据：《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》（DL/T 5155—2002）第 4.2.1 条：“所用电低压系统应采用三相四线制，系统的中性点直接接地，系统额定电压 380/220V。”

(5) 发电厂中，高压厂用电系统短路电流计算时，考虑以下哪几项条件？（2011）

- (A) 应按可能发生最大短路电流的正常接线方式
- (B) 应考虑在切换过程中短时并列的运行方式
- (C) 应计及电动机的反馈电流
- (D) 应考虑高压厂用变压器短路阻抗在制造上的负误差

答案：[A、C、D]

依据：《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）第 7.1.1 条：“计算短路电流时，应按可能发生最大短路电流的正常接线方式，不考虑仅在切换过程中短时并列的运行方式。”故 A 答案正确，B 答案错误；根据第 7.1.2 条：“高压厂用电系统的短路电流计算应计及电动机反馈电流，并考虑高压厂用变压器短路阻抗在制造上的负误差。对于厂用电源供给的短路电流，其周期分量在整个短路过程中可以认为不衰减，其非周期分量可按厂用电源的衰减时间常数计算。”故 C、D 答案正确。

(6) 发电厂高压电动机的控制接线应满足下列哪些要求？（2011）

- (A) 能监视电源和跳闸回路的完好性，以及备用设备自动合闸回路的完好性
- (B) 能指示断路器的位置状态，其断路器的跳、合闸线圈可用并联电阻来满足跳、合闸指示灯亮度的要求
- (C) 应具有防止断路器跳跃的电气闭锁装置
- (D) 断路器的合闸或跳闸动作完成后，命令脉冲能自动消除

答案：[A、C、D]

依据：根据《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）第 10.1.3 条。

10.1.3 厂用电动机应根据其控制地点、操作设备和重要程度分别采用不同的控制方式。集中控制的电动机宜采用“一对一”控制，需要时也可设程序控制或进 DCS。

高压电动机的控制接线应满足下列要求：

- 1) 能监视电源和跳闸回路的完好性，以及备用设备自动重合闸回路的完好性。
- 2) 能指示断路器（或操作设备）的位置状态，备用设备自动重合闸或事故跳闸时应有明显的信号，断路器的跳、合闸线圈和合闸接触器的线圈不允许用并联电阻来满足跳、合闸指示灯亮度的要求。
- 3) 具有防止断路器跳跃的电气闭锁装置。
- 4) 断路器的合闸或跳闸动作完成后，命令脉冲能自动消除。

本题中，根据第 1) 款可得 A 答案正确；根据第 2) 款可得 B 答案错误；根据第 3) 款可得 C 答案正确；根据第 4) 可得 D 答案正确。

(7) 某电厂单元机组，发电机采用双卷变压器组接入 220kV 母线，厂用分支从主变低压侧引接至高压工作厂变，高压起备变从 220kV 母线引接。高压厂用电为 6kV 中性点不接地系统。若主变为 YNd11 接法，则高压工作厂变和高压起备变的绕组连接方法可以为下列哪几组？（2013）

- (A) 高压工作厂变 Dd0，高压起备变 YNd11
- (B) 高压工作厂变 Dd1，高压起备变 YNy0d11（d11 系稳定绕组）
- (C) 高压工作厂变 Yd11，高压起备变 YNd11
- (D) 高压工作厂变 Dd1，高压起备变 DNd0

答案：[A、D]

依据：《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）第 4.5.7 条及条文说明第 4.5.7 条。

4.5.7 厂用变压器接线组别的选择，应使厂用工作电源与备用电源之间的相位一致，以便厂用电源的切换方式可采用并联切换方式。低压厂用变压器宜采用 Dyn 的接线。

条文说明 4.5.7 国内厂用电源之间的正常切换，都采用并联切换。因此，厂用工作电源与备用电源之间的相位一致是十分必要的。这要靠适当选择厂用变压器的接线组别来达到。低压厂用变压器采用 Dyn 接线，变压器的零序阻抗大大减小，可缩小各种短路类型的短路电流差异，以简化保护方式。另外，对改善运行性能也有益处。因此 Dyn 接线是可取的。

分析：本题需要保证高压工作厂变和高压起备变绕组在低压侧的连接组别相同，经

作图求解。

(8) 某企业用 110kV 变电所，有两回 110kV 电源供电，设有两台 110kV 双卷主变压器，110kV 主接线采用外桥接线，10kV 为单母线分段接线，下列哪些措施可限制 10kV 母线的三相短路电流？(2013)

- (A) 选用 10kV 母线分段电抗器 (B) 两台主变分列运行
(C) 选用高阻抗变压器 (D) 装设 10kV 线路电抗器

▶ 答案：[A、B、C]

▶ 依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 119 页第三条。

三 限流措施

电力系统可以采取的限流措施：

- (1) 提高电力系统的电压等级。
- (2) 直流输电。
- (3) 在电力系统主网加强联系后，将次级电网解环运行。
- (4) 在允许的范围内，增大系统的零序阻抗，例如采用不带第三绕组或第三绕组为 Y 接线的全星形自耦变压器、减少变压器的接地点等。

发电厂和变电所中可以采取的限流措施：

- (1) 发电厂中，在发电机电压母线分段回路中安装电抗器。
- (2) 变压器分裂运行。
- (3) 变电所中，在变压器回路中装设分裂电抗器或电抗器。
- (4) 采用低压侧为分裂绕组的变压器。
- (5) 出线上装设电抗器。

(9) 330kV 及以上变电所中，所用电源的引接可采用下列哪几种方式？(2013)

- (A) 两台以上主变压器时，可装设两台容量相同可互为备用的所用变压器，两台所用变压器可分别接自主变压器低压侧
- (B) 初期只有一台变压器且所用电作为交流控制电源时，应由所外可靠电源引接
- (C) 两台以上主变压器时，由变压器低压侧分别引接两台容量相同的所用变压器，并应从所外可靠电源引接一台专用备用变压器
- (D) 当有一台变压器时，除由所内引接一台工作变压器外，应再设置一台由所外可靠电源引接的所用工作变压器

▶ 答案：[C、D]

▶ 依据：《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002) 第 4.1.1 条、4.1.2 条。

4.1.1 220kV 变电所宜从主变压器低压侧分别引接两台容量相同，可互为备用，分列运行的所用工作变压器，每台工作变压器按全所计算负荷选择。

只有一台主变压器时，其中一台所用变压器宜从所外电源引接。

4.1.2 330kV~500kV 变电所的主变压器为两台（组）及以上时，由主变压器低压侧引接的所用工作变压器台数不宜少于两台，并应装设一台从所外可靠电源引接的专用备用变压器。

每台工作变压器的容量宜至少考虑两台（组）主变压器的冷却用电负荷。专用备用变压器的容量应与最大的工作变压器容量相同。

初期只有一台（组）主变压器时，除由所内引接一台工作变压器外，应再设置一台由所外可靠电源引接的专用备用变压器。

(10) 220kV 及以上变电所所用电接线方式应满足多种要求，下列哪些要求是正确的？(2013)

- (A) 所用电低压系统采用三相四线制，系统的中性点直接接地，系统额定电压采用 380/220V，动力和照明合用供电
- (B) 所用电低压系统采用三相三线制，系统的中性点经高阻接地，系统额定电压采用 380V 供动力负荷，设 380/220V 照明变压器
- (C) 所用电母线采用按工作变压器划分的单母线，相邻两段工作母线间不设分段断路器
- (D) 当工作变压器退出时，备用变压器应能自动切换至失电的工作母线段继续供电

▶ **答案：**[A、D]

▶ **依据：**《220kV~500kV 变电所所用电设计技术规程》（DL/T 5155—2002）第 4.2.1 条、4.2.2 条、4.2.3 条。

4.2.1 所用电低压系统应采用三相四线制，系统的中性点直接接地。系统额定电压 380/220V。

4.2.2 所用电母线采用按工作变压器划分的单母线。相邻两段工作母线间可配置分段或联络断路器，但宜同时供电分列运行。两段工作母线间不宜装设自动投入装置。

4.2.3 当任一台工作变压器退出时，专用备用变压器应能自动切换至失电的工作母线段继续供电。

3. 案例题

302

题 1：某新建 $2 \times 300\text{MW}$ 燃煤发电厂，高压厂用电系统标称电压为 6kV ，其中性点为高电阻接地。每台机组设两台高压厂用无励磁调压双卷变压器，容量为 35MVA ，阻抗值为 10.5% ， 6.3kV 单母线接线，设 A 段、B 段。 6kV 电线电缆选为 $\text{ZR YJV}_{22}6/6\text{kV}$ 三芯电缆（见表 12-1 和表 12-2）。

请根据上述条件计算下列各题（保留两位小数）。(2012)

表 12-1 ZR YJV₂₂6/6kV 三芯电缆每相对地电容值及 A、B 段电缆长度

电缆截面/ mm^2	每相对地电容值/ $\mu\text{F}/\text{km}$	A 段电缆长度/ km	B 段电缆长度/ km
95	0.42	5	5.5
120	0.46	3	2.5
150	0.51	2	2.1
185	0.53	2	1.8

表 12-2 矩形铝导体长期允许载流量

A

导体尺寸 $h \times b / (\text{mm} \times \text{mm})$	双 条		三 条		四 条	
	平 放	竖 放	平 放	竖 放	平 放	竖 放
80×6.3	1724	1892	2211	2505	2558	3411
80×8	1946	2131	2491	2809	2863	3817
80×10	2175	2373	2774	3114	3167	4222
100×6.3	2054	2253	2663	2985	3032	4043
100×6.8	2298	2516	2933	3311	3359	4479
100×10	2558	2796	3181	3578	3622	4829
125×6.3	2446	2680	2079	3490	3525	4700
125×8	2725	2980	3375	3813	3847	5129
125×10	3005	3282	3735	4194	4225	5633

注：1. 表中导体尺寸中 h 为宽度， b 为厚度。

2. 表中当导体为四条时，平放、竖放第 2、3 条间距皆为 50mm。

3. 相同截面的铜导体载流量为表中铝导体载流量的 1.27 倍。

(1) 当 A 段母线上容量为 3200kW 的给水泵电动机起动时，其母线已带负荷为 19141kVA，求该电动机起动时的母线电压百分数为下列哪项值？（已知该电动机起动电流倍数为 6、额定效率为 0.963、功率因数为 0.9）

- (A) 88% (B) 92% (C) 93% (D) 97%

答案：[B]

解答过程：根据《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）附录 J 有关公式计算如下：

1) 厂用母线空载电压标么值为

$$U_0 = 1.05$$

2) 自起动前厂用电源已带的负荷标么值为

$$S_1 = \frac{19141}{35000} \approx 0.547$$

3) 自起动容量为

$$S_{qz} = \frac{K_q P_e}{S_{2T} \eta_d \cos \varphi_d} = \frac{6 \times 3200}{35000 \times 0.963 \times 0.9} \approx 0.633$$

4) 变压器电抗标么值为

$$X_T = 1.1 \frac{U_d \%}{100} = 1.1 \times \frac{10.5}{100} = 0.1155$$

5) 电动机正常起动时母线电压为

$$U_m = \frac{U_0}{1 + SX} = \frac{1.05}{1 + (0.547 + 0.633) \times 0.1155} \approx 0.924$$

按四舍五入的原则选 B 为正确答案。

(2) 已知：厂用高压变压器高压侧系统阻抗为无穷大，接在 B 段的电动机负荷为 21000kVA，电动机平均反馈电流倍数取 6， $\eta \cos \varphi_D$ 取 0.8，求 B 段的短路电流最接近下列哪项值？

- (A) 15.15kA (B) 33.93kA (C) 45.68kA (D) 149.09kA

答案：[A]

解答过程：根据《火力发电厂厂用电设计技术规定》（DL/T 5153—2002）附录 M 有关公式计算如下：

- 1) 厂用电源短路周期分量的起始有效值为

$$I''_B = \frac{I_j}{X_X + X_T} = 0$$

- 2) 电动机反馈电流周期分量的起始有效值为

$$I''_D = K_{q.D} \frac{P_{e.D}}{\sqrt{3} U_{e.D} \eta_D \cos \varphi_D} \times 10^{-3} = 6 \times \frac{21000}{\sqrt{3} \times 6 \times 0.8} \times 10^{-3} \text{ kA} = 15.16 \text{ kA}$$

- 3) 短路电流周期分量起始有效值为

$$I'' = I''_B + I''_D = 15.16 \text{ kA}$$

(3) 请在下列选项中选择最经济合理的 6.3kV 段母线导体组合，并说明理由。

- (A) 100×10 矩形铜导体二条平放 (B) 100×8 矩形铝导体三条竖放
(C) 100×6.3 矩形铜导体三条平放 (D) 100×10 矩形铝导体三条竖放

答案：[D]

解答过程：1) 先计算 6.3kV 段母线的持续工作电流：

$$I_g = \frac{1.05 S}{\sqrt{3} U} = \frac{1.05 \times 35000}{\sqrt{3} \times 6.3} \text{ A} = 3368 \text{ A}$$

注意：根据一次手册表 6-3，最大的电源元件是厂用变压器，并考虑 A、B 两段为备用的情况，S'用的是变压器的总容量，即 A、B 段总容量。根据 DL/T 5222—2005 第 7.1.3 条，选择铝导体。若选 100×8 矩形铝导体三条竖放，允许载流量为 3311A，不满足要求；若选 100×10 矩形铝导体三条竖放，允许载流量为 3578A，则满足要求。

题 2：某大型燃煤厂，采用发电机变压器组单元接线，以 220kV 电压接入系统，高压厂用工作变压器支接于主变低压侧，高压起动备用变压器经 220kV 电缆从本厂 220kV 配电装置引接，其两侧额定电压比为 226/6.3kV，接线组别为 YNyn0，额定容量为 40MVA，阻抗电压为 14%，高压厂用电系统电压为 6kV，设 6kV 工作段和公用段，6kV 公用段电源从工作段引接，请解答下列问题：(2012)

(1) 已知 6kV 工作段设备短路水平为 50kA，6kV 公用设备短路水平为 40kA，且无电动机反馈电流，若在工作段至公用段馈线上采用额定电流为 2000A 的串联电抗器限流，请计算并选择下列哪项电抗器的电抗百分值最接近所需值？（不考虑电压波动）

- (A) 5% (B) 4% (C) 3% (D) 1.05%

答案：[D]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (6-14) 可得：

$$X_k \% \geq \left(\frac{I_j}{I} - X_{*j} \right) \frac{I_{ek} U_j}{U_{ek} I_j} \times 100\% = \left(\frac{9.16}{40} - \frac{9.16}{50} \right) \times \frac{2}{6} \times \frac{6.3}{9.16} \times 100\% = 1.05\%$$

分析：电抗器电抗百分数的选择经常出题。

(2) 已知电气原则接线如图 12-1 所示 (220kV 出线未表示)，当机组正常运行时，CB1、CB2、CB3 都在合闸状态，CB4 在分闸状态，请分析并说明该状态下，下列哪项表述正确？

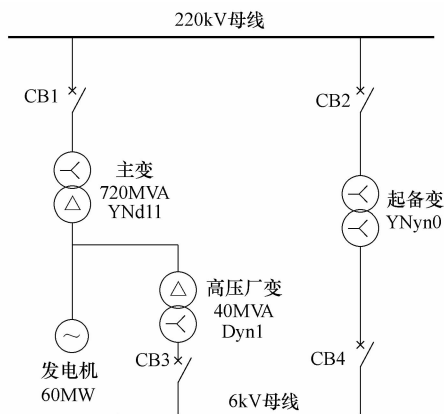


图 12-1 机组接线图

- (A) 变压器接线组别选择正确，CB4 两端电压相位一致，可采用并联切换。
- (B) 变压器接线组别选择正确，CB4 两端电压相位有偏差，可采用并联切换。
- (C) 变压器接线组别选择错误，CB4 两端电压相位一致，不可采用并联切换。
- (D) 变压器接线组别选择错误，CB4 两端电压相位有偏差，不可采用并联切换。

答案：[A]

解答过程：根据《电力变压器选用导则》(GB/T 17468—2008) 第 6.1 条可知并联运行的条件为钟时序数要严格相等。本题中主变为 YNd11 接线，高压厂变为 Dyn1，起备变为 YNyn0，高厂变和起备变在 6kV 侧时钟时序数相同，故可并联切换。

题 3：某 220kV 变电所有两台 10/0.4kV 所用变，单母分段接线，容量 630kVA，计算负荷 560kVA。现计划扩建：综合楼空调器（仅夏天用）所有相加额定容量为 80kW，照明负荷为 40kW，深井水泵为 22kW（功率因数为 0.85），冬天取暖用电炉一台，接在 2#变的母线上，容量 150kW。(2009)

305

(1) 新增用电计算负荷为 ()，写出计算过程。

- (A) 288.7kVA (B) 208.7kVA (C) 292kVA (D) 212kVA

答案：[B]

解答过程：根据《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002) 第 5.1.2 条知，负荷计算采用换算系数法，所用变压器的容量按下式选择：

$$S \geq K_1 \times P_1 + P_2 + P_3 = [0.85 \times 22 + 150 + 40] \text{ kVA} = 208.7 \text{ kVA}$$

分析：根据《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002) 附

录 B，深井水泵属于动力负荷，空调器和取暖用电炉属于电热负荷，根据附录 B 的这个算例，空调负荷（仅夏天用）不应计入。

(2) 若新增用电计算负荷为 200kVA，则所用变压器的额定容量为（ ）。写出计算过程。

- (A) 1#主变 630kVA 2#主变 800kVA
- (B) 1#主变 630kVA 2#主变 1000kVA
- (C) 1#主变 800kVA 2#主变 800kVA
- (D) 1#主变 1000kVA 2#主变 1000kVA

答案：[C]

解答过程：1) 由题目和上题的计算结果可知，原有计算负荷 560kVA，新增负荷为 200kVA，故总的计算负荷 = [560 + 200] kVA = 760kVA。

2) 由《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002) 第 4.1.1 条：“220kV 变电所宜从主变压器低压侧分别引接两台容量相同，可互为备用，分列运行的所用工作变压器，每台工作变压器按全所计算负荷选择”，可知每台工作变压器按全所计算负荷选择，故选用两台 800kVA 的所用变。

分析：凡是变电所所用电的题，如果变电所是 200kV 及以上电压等级，要首先考虑规程《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002)。

(3) 深井泵进线隔离开关，馈出低压断路器，其中一路给泵供电，已知泵电动机起动电流为额定电流的 5 倍，最小短路电流为 1000A，最大短路电流为 1500A，断路器动作时间为 0.01s，可靠系数取最小值。

- (A) 脱扣器整定电流 265A，灵敏度 3.77
- (B) 脱扣器整定电流 334A，灵敏度 2.99
- (C) 脱扣器整定电流 265A，灵敏度 5.7
- (D) 脱扣器整定电流 334A，灵敏度 4.5

答案：[B]

解答过程：由本题题目可知，断路器动作时间 0.01s，可靠系数取最小值，根据《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002) 附录 F 表 F2，取可靠系数为 1.7，可得断路器过电流脱扣器整定电流为

$$I_z \geq K \times I_Q = K \times 5 \times \frac{P_e}{\sqrt{3} U_n \cos \alpha} = 1.7 \times 5 \times \frac{22 \times 1000}{1.732 \times 0.38 \times 1000 \times 0.85} \text{ A} = 334.27 \text{ A}$$

根据附录 F 第 F2 条知，过电流脱扣器的灵敏度按下式进行校验：

$$I_d / I_z = 1000 / 334.27 = 2.99 \geq 1.5$$

灵敏度符合要求。

(4) 上述，进线侧断路器侧过电流脱扣器延时为（ ）。

- (A) 0.1s
- (B) 0.2s
- (C) 0.3s
- (D) 0.4s

答案：[B]

▶ **解答过程：**根据《220kV~500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002)附录 G 第 G2 条可知，断路器过电流脱扣器级差可取 0.15~0.2s，即负荷断路器为瞬动，馈电干线断路器取短延时 0.15~0.2s，总电源断路器延时为 0.3~0.4s。本题中深井泵进线断路器属于馈电干线断路器，其延时取 0.15~0.2s，故本题选 B。

(5) 如设专用备用变压器，则电源自投方式为 ()。

- (A) 当自投起动条件满足时，自投装置立即动作
- (B) 当工作电源恢复时，切换回路须人工复归
- (C) 手动断开工作电源时，应起动自动投入装置
- (D) 自动投入装置动作时，发事故信号

▶ **答案：**[B]

▶ **解答过程：**根据《220kV~500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002)第 8.3.1 条。

8.3.1 所用专用备用电源自动投入装置应满足下列要求：

- 1) 保证工作电源断路器断开后，工作母线无电压，且备用电源电压正常的情况下，才投入备用电源；
- 2) 自动投入装置应延时动作，并只动作一次；
- 3) 当工作母线故障时，自动投入装置不应起动；
- 4) 手动断开工作电源时，不起动自动投入装置；
- 5) 工作电源恢复供电后，切换回路应由人工复归；
- 6) 自动投入装置动作后，应发预告信号。

由以上第 1) 款可排除 A 答案；由第 4) 款可排除 C 答案；由第 6) 条可排除 D 答案。

题 4：发电厂有 1600kVA 两台互为备用的干式厂用变，Dyn11，6.3/0.4kV， $U_d = 6\%$ ，中性点直接接地。(2009)

(1) 需要装的保护配置为 ()。

- (A) 纵联差动，过电流，瓦斯，单相接地
- (B) 纵联差动，过电流，温度，单相接地短路
- (C) 电流速断，过电流，瓦斯，单相接地
- (D) 电流速断，过电流，温度，单相接地短路

▶ **答案：**[D]

▶ **解答过程：**根据《火力发电厂厂用电设计技术规定》(DL/T 5153—2002)第 9.5.1 条。

9.5.1 低压厂用变压器应装设下列保护：

1 纵联差动保护

2MVA 及以上用电流速断保护灵敏性不符合要求的变压器应装设本保护。保护装置宜采用三相三继电器式接线，瞬时动作于变压器各侧断路器跳闸。

2 电流速断保护

用于保护变压器绕组内及引出线上的相间短路故障。保护装置宜采用两相三继电器式接线，瞬时动作于变压器各侧断路器跳闸。

3 瓦斯保护

800kVA 及以上的油浸变压器和 400kVA 及以上的车间内油浸变压器，均应装设瓦斯保护。当壳内故障产生轻微瓦斯或油面下降时应瞬时动作于信号；当产生大量瓦斯时，应动作于变压器各侧断路器跳闸。

4 过电流保护

保护变压器及相邻元件的相间短路故障。保护装置宜采用两相三继电器式接线，带时限动作于变压器各侧断路器跳闸。

当变压器供电给 2 个分段及以上时，应在各分支上装设过电流保护，带时限动作于本分支断路器跳闸。对于备用变压器，若自动投入至永久故障，本保护应加速跳闸。

5 单相接地短路保护

对于低压侧中性点直接接地的变压器，低压侧单相接地短路故障应装设下列保护之一：

1) 装在变压器低压侧中性线上的零序过电流保护，保护装置可由反时限电流继电器组成。

2) 利用高压侧的过电流保护，兼作低压侧的单相短路保护。保护装置宜采用两相三继电器接线。

保护装置带时限动作于变压器各侧断路器跳闸。

当变压器低压侧有分支时，利用分支上的三相电流互感器构成零序滤过器回路，保护装置可由反时限电流继电器组成，动作于本分支断路器跳闸。

6 单相接地保护

按 9.2.3。

7 当变压器远离供电地点，变压器高压侧的保护动作于各侧断路器跳闸有困难时，可以只动作于高压侧断路器，低压侧可另设低电压保护，带时限动作于低压侧断路器跳闸。

8 温度保护

400kVA 及以上的车间内干式变压器，均应装设温度保护。400kVA 以下及 400kVA 及以上非车间内干式变压器宜装设温度保护。宜选用非电子类膨胀式温控器启动风扇、报警、跳闸，应能在不停电条件下进行检查。

需远方读数的干式变压器可另选电子式温显器。

根据 9.5.1 条相关规定可得：因厂用变 S_N 为 1600kVA，不需要装设纵联差动保护；装设电流速断保护保护变压器绕组内及引出线的相间短路故障；装设过电流保护保护变压器及相邻元件的相间短路故障；干式变压器不需设瓦斯保护；400kVA 及以上的车间内干式变压器均应设温度保护；对于中性点直接接地的变压器，装设单相接地短路保护用于保护低压侧单相接地短路故障。综上所述，本题应选 D 答案。

(2) 最少需要的电流互感器和灵敏度为 ()。

- (A) 三相 大于等于 2.0 (B) 三相 大于等于 1.5
(C) 两相 大于等于 2.0 (D) 两相 大于等于 1.25

► 答案: [D]

► 解答过程: 1) 根据《火力发电厂厂用电设计技术规定》(DL/T 5153—2002) 9.5.1 条(见上一题)可知低压厂用变压器的电流速断保护及过电流保护宜采用两相三继电器的接线方式,故可排除 A 和 B 答案。

2) 由题知低压厂用电系统为中性点直接接地系统,由第 9.1.1 条可知,动作于跳闸的单相接地保护灵敏系数不低于 1.5;由第 9.5.1 条的第 5 部分的 2) 款及《电力工程电气设计手册 电气二次部分》第 29-8 节第 3 部分 低压厂用工作及备用变压器保护 第 5 点可知利用高压侧的过电流保护作低压侧的单相短路可适当降低灵敏系数,可取 1.25。故本题选 D 为正确答案。

(3) 由低压母线引出到电动机,功率为 75kW,电流为 145A,起动电流为 7 倍额定电流,装电磁型电流继电器,最小三相短路电流为 6000A,则整定值为 ()。

- (A) 522.5A 3.94 (B) 1522.5A 3.41
(C) 1928.5A 3.11 (D) 1928.5A 2.96

► 答案: [B]

► 解答过程: 1) 由题知继电器为 DL 型,根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》式 (23-3) 有

$$I_{dz} = K_z \times I_{qd} = (1.4 \sim 1.6) \times 7 \times 145A = 1421 \sim 1624A$$

取 1522.5A。

2) 灵敏度校验。根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》式 (23-4) 有

$$K_m = \frac{I_{d.min}^{(2)}}{I_{dz}} = \frac{I_{d.min}^{(3)} \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{dz}} = \frac{6000 \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{1522.5} = 3.41$$

故选 B 为正确答案。

(4) 假设电动机内及引出线单相接地相间短路整定电流为 1530A,电缆长 130m,相间短路保护灵敏系数为 ()。

- (A) 1.5, 不需要另加单相接地保护 (B) 1.5, 需要另加单相接地保护
(C) 1.2, 不需要另加单相接地保护 (D) 1.2, 需要另加单相接地保护

► 答案: [A]

► 解答过程: 1) 根据《火力发电厂厂用电设计技术规定》(DL/T 5153—2002) 第 9.1.1 条可得动作于跳闸的单相接地保护灵敏系数不低于 1.5,为此,先求出相间短路保护的灵敏系数为

$$K_m = \frac{I_{d.min}^{(2)}}{I_{dz}} = \frac{I_{d.min}^{(3)} \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{dz}} = \frac{6000 \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{1530} = 3.4 > 1.5$$

灵敏度满足要求。

2) 由根据《火力发电厂厂用电设计技术规定》(DL/T 5153—2002) 第 9.7.1 条。

9.7.1 低压厂用电动机应装设下列保护：

1 相间短路保护

用于保护电动机绕组内及引出线上的相间短路故障。保护装置可按电动机的重要性及所选用的一次设备，由下列方式之一构成：

1) 熔断器与磁力起动器（或接触器）组成的回路，由熔断器作为相间短路保护。

2) 断路器或断路器与操作设备组成的保护回路，可用断路器本身的短路脱扣器作为相间短路保护，为使保护范围能伸入电动机内部，要求电动机出线端子处短路时，保护的灵敏系数不小于 1.5。若保护的灵敏性达不到要求，应另装继电保护，保护装置采用两相两继电器接线，瞬时动作于断路器跳闸。

2 单相接地短路保护

低压厂用电系统中性点为直接接地时，对容量为 100kW 以上的电动机宜装设单相接地短路保护。

对 55kW 及以上的电动机如相间短路保护能满足单相接地短路的灵敏性时，可由相间短路保护兼作接地短路保护；当不能满足时，应另装接地短路保护。

保护装置由 1 个接于零序电流互感器上的电流继电器构成，瞬时动作于断路器跳闸。

3 单相接地保护

按 9.2.3、9.2.4。

4 过负荷保护

对易过负荷的电动机应装设本保护。其构成方式如下：

1) 操作电器为磁力起动器或接触器的供电回路，其过负荷保护用热继电器或微机（电子）型继电器构成。

2) 由断路器组成的回路，当装设单独的继电保护时，可采用电流继电器作为过负荷保护；当采用电动机型断路器时也可采用本身的过载长延时脱扣器作为过负荷保护。

保护装置可根据负荷的特点动作于信号或跳闸。

5 两相运行保护

当电动机由熔断器作为短路保护时，应装设本保护，保护的构成方式按 7.5.10。

6 低电压保护

按 9.6.1 条 6 款。

310

由第 2 款可知：对于 55kW 及以上的电动机如相间短路保护能满足单相接地短路的灵敏性时，可由相间短路兼作接地短路保护，故本题选 A。

题 5：某发电厂启动备用变压器从本厂 110kV 配电装置引线，变压器型号为 SF9-16000/110，三相双绕组无励磁调压变压器 115/6.3kV，阻抗电压 $U_d = 8\%$ ，接线组别为 YNd11，高压侧中性点固定接地。（2008）

(1) 请说明下列几种保护哪一项是本高压启动备用变压器不需要的？

- (A) 纵联差动保护
- (B) 瓦斯保护
- (C) 零序电流保护
- (D) 零序电压保护

答案: [D]

解答过程: 根据《火力发电厂厂用电设计技术规定》(DL/T 5153—2002) 9.4.2 条。

9.4.2 高压厂用备用或起动/备用变压器应装设下列保护:

1 纵联差动保护

对 10MVA 及以上或带有公用负荷 6.3MVA 及以上的变压器, 应装设本保护, 保护范围不包括各分支线。保护装置宜采用三相三继电器式接线, 瞬时动作于各侧断路器跳闸。

对 2MVA 及以上采用电流速断保护灵敏性不符合要求的变压器, 也应装设本保护。

2 电流速断保护

对 10MVA 以下或带有公用负荷 6.3MVA 以下的变压器, 在电源侧宜装设本保护, 保护装置采用三相三继电器式接线。对变压器高压侧接于非直接接地的电力系统时, 宜采用两相三继电器式接线。保护装置瞬时动作于变压器各侧断路器跳闸。

3 瓦斯保护 (包括有载调压变压器调压分接开关箱的瓦斯保护)

按 9.4.1 条第 3 款。

4 过电流保护

按 9.4.1 条 4 款。

5 单相接地保护

按 9.2.1 和 9.2.2。

6 零序电流保护

当变压器高压侧接于 110kV 及以上中性点直接接地的电力系统中, 且变压器的中性点为直接接地运行时, 为防止单相接地短路引起的过电流, 应装设零序电流保护。

7 备用分支的过电流保护

按 9.3.2 条第 2 款。

由第 1 款可知, 对于 10MVA 及以上的变压器应装设纵联差动, 故 A 答案对; 由第 3 款可知, 高压厂用变压器应装设瓦斯保护, 故 B 答案对; 由第 6 款可知, 当变压器高压侧接于 110kV 及以上中性点直接接地电网中, 且变压器的中性点为直接接地运行时, 为防止单相接地短路引起的过电流, 应装设零序电流保护, 故 C 答案对。

(2) 若高低压侧 CT 电流比分别为 300/5A、2000/5A, 计算当采用电磁式差动继电器接线时, 高、低压侧 CT 二次回路额定电流接近下列哪组数值? (高、低压一次额定电流分别为 80A 和 466A)

(A) 2.31A 3.67A

(B) 1.33A 3.67A

(C) 2.31A 2.02A

(D) 1.33A 2.02A

答案: [C]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》式 (29-54) 有

$$I_{e21} = \frac{K_{jx} I_e}{n_1} = \frac{\sqrt{3} \times 80}{60} \text{A} = 2.31 \text{A}$$

$$I_{e22} = \frac{K_{jx} I_e}{n_1} = \frac{\sqrt{3} \times 466}{400} \text{A} = 2.02 \text{A}$$

(3) 假定变压器高低压侧 CT 二次回路的额定电流分别为 2.5A 和 3.0A，计算差动保护要躲过 CT 二次回路断线时的最大负荷电流最接近下列哪项值？

- (A) 3.0A (B) 3.25A (C) 3.9A (D) 2.5A

答案：[C]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》式 (29-63)，电流互感器各侧二次回路额定电流的计算公式如下：

$$I_{dz1} = 1.3I_{th.max1} = 1.3 \times 2.5A = 3.25A$$

$$I_{dz2} = 1.3I_{th.max2} = 1.3 \times 3A = 3.9A$$

取 $I_{dz} = I_{dz2} = 3.9A$ 。

(4) 已知用于后备保护 110kV 的 CT 二次负载能力为 10VA，保护装置的第一整定值（差动保护）动作电流为 4A，此时保护装置的二次负载为 8VA，若忽略接触电阻，计算连接导线的最大电阻应为下列何值？

- (A) 0.125Ω (B) 0.042Ω (C) 0.072Ω (D) 0.063Ω

答案：[A]

解答过程：

$$I^2 R = 10 - 8$$

$$\Rightarrow 4^2 R = 2$$

$$\Rightarrow R = 0.125\Omega$$

(5) 假定该变压器单元在机炉集中控制室控制，说明控制屏应配置下列哪项所列表计。（假定电气不进 DCS，也无监控系统）

- (A) 电流表、有功功率表、有功电能表
(B) 电流表、电压表、有功功率表
(C) 电压表、有功功率表、无功功率表
(D) 电压表、有功功率表、有功电能表

答案：[A]

解答过程：根据《火力发电厂厂用电设计技术规定》(DL/T 5153—2002) 第 10.2.1 条：“厂用电设备的测量仪表应符合 DL/T 5137《电气测量仪表装置设计技术规程》有关的要求。表计的装设参照附录 T（标准的附录）”，由附录 T 可知，高压厂用起动/备用电源在控制室控制，应该装设电流表、有功功率表以及有功电能表。

题 6：某 500kV 变电站，设有 2 台主变压器，所用电计算负荷为 520kVA。由两台 10kV 工作所用变压器供电，公用一台专用备用所用变压器，容量均为 630kVA。若变电站扩建改造，扩建一组主变压器（三台单相，与现运行的主变压器容量、型号相同）。每台单相主变冷却器配置为：共四组冷却器（主变满负荷运行需投运三组）。每组冷却器油泵一台 10kW，风扇两台 5kW/台（电动机启动系数均为 3）。增加消防泵及水喷雾用电负荷 30kW，站内给水泵 6kW，事故风机用电负荷 20kW，不停电电源负荷 10kW，照明负荷 10kW。（2013）

(1) 请计算该变电站改造部分所用电负荷计算负荷值是多少?

- (A) 91.6kVA (B) 176.6kVA
(C) 193.6kVA (D) 219.1kVA

答案: [C]

依据: 根据《220kV~500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002) 第 5.1.2 条, 负荷计算采用换算系数法, 所用变压器的容量按下式选择:

$$S \geq K_1 \times P_1 + P_2 + P_3$$

$$= 0.85 \times [3 \times 3 \times (10 + 5 \times 2) + 6 + 20 + 10] \text{ kVA} + 10 = 193.6 \text{ kVA}$$

分析: 本题要先确定负荷的运行方式。根据附录 A, 变压器强油风(水)冷却装置及其附属冷却风扇属于经常、连续负荷; 消防水泵、变压器水喷雾装置属于不经常、短时负荷; 站内给水泵属于经常、短时负荷; 事故通风机属于不经常、连续负荷; 不停电电源属于不经常、连续负荷; 照明负荷属于经常、连续负荷。根据 5.1.1 条, 连续运行及经常短时运行的设备应予计算, 而不经常短时及不经常断续运行的设备不予计算。故消防水泵、变压器水喷雾装置不应计入动力负荷。电动机的启动时负荷属于短时、不连续负荷, 也不应计入。

(2) 请问增容改造后, 所用变压器计算容量至少应为下列哪项数值?

- (A) 560.6kVA (B) 670.6kVA
(C) 713.6kVA (D) 747.1kVA

答案: [C]

依据: 原有所用电计算负荷为 520kVA, 再加上新增的 193.6kVA, 共计 713.6kVA。
分析: 如果上一题没计算对, 这一题也很难答对。

(3) 设主变冷却器油泵、风扇的功率因数均为 0.8, 请计算主变冷却器供电网络工作电流应为下列哪项数值? (假设电动机的效率 $\eta = 1$)

- (A) 324.70A (B) 341.85A
(C) 433.01A (D) 434.50A

答案: [B]

依据: 根据《220kV~500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002) 附录 E E2 式有

$$I_g = 3n_1(I_b + n_2 \cdot I_f) = 3n_1 \left(\frac{P_1}{\sqrt{3}U\eta_1 \cos\varphi_1} + n_2 \cdot \frac{P_2}{\sqrt{3}U\eta_1 \cos\varphi_2} \right)$$

$$= 3 \times 3 \left(\frac{10000}{\sqrt{3} \times 380 \times 1 \times 0.8} + 2 \times \frac{5000}{\sqrt{3} \times 380 \times 1 \times 0.8} \right) \text{ A} \approx 341.85 \text{ A}$$

(4) 已知所用变每相回路电阻 $3\text{m}\Omega$, 电抗 $10\text{m}\Omega$, 冷却装置每相回路电阻为 $2\text{m}\Omega$, 电抗为 $1\text{m}\Omega$, 请计算所用电给新建主变冷却器配电屏三相短路电流大小, 以及电流脱扣器的整定值为下列哪项数值? (假定电动机启动电流倍数为 3, 冷却器功率因数均为 0.85, 效率 $\eta = 1$, 可靠系数取 1.35)

(A) 19.11kA, 1.303A

(B) 19.11kA, 1.748A

(C) 2.212kA, 1.303A

(D) 2.212kA, 1.303A

答案: [A]

解答过程: 根据《220kV~500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002)

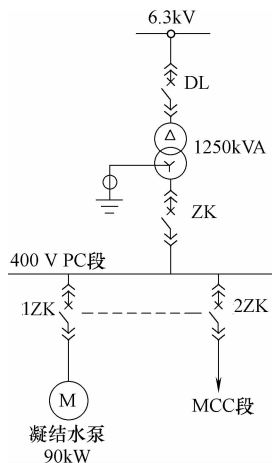
附录 D D1 式有

$$I'' = \frac{U}{\sqrt{3} \times \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times \sqrt{(3+2)^2 + (10+1)^2}} \text{kA} \approx 19.11 \text{kA}$$

又根据附录 F 表 F2, 对于单台电动机, 其脱扣器整定电流为

$$I_Z \geq K \cdot I_Q = 1.35 \times \frac{3P}{\sqrt{3}U \cos \varphi \eta} = 1.35 \times \frac{3 \times 3 \times 3 \times (10 + 5 \times 2)}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 0.85 \times 1} \text{A} \approx 1303.1 \text{A}$$

题 7: 某 300MW 发电厂低压厂用变压器系统接线图如下:



已知条件如下: 1250kVA 厂用变压器: $U_d\% = 6\%$, 额定电压为 6.3/0.4kV, 额定电流比为 114.6/1804A, 变压器励磁涌流不大于 5 倍额定电流; 6.3kV 母线最大运行方式系统阻抗 $X_s = 0.444$ (以 100MVA 为基准容量), 最小运行方式下系统阻抗 $X_s = 0.87$ (以 100MVA 为基准容量), ZK 为智能断路器 (带反时限过流保护, 电流速断保护), $I_n = 2500\text{A}$ 。400V PC 段最大电动机为凝结水泵, 其额定功率为 90kW, 额定电流 $I = 180\text{A}$, 启动电流倍数 10 倍, 1ZK 为智能断路器 (带反时限过流保护, 电流速断保护), $I_n = 400\text{A}$ 。400V PC 段需要自启动的电动机最大启动电流之和为 8000A, 400V PC 段总负荷电流为 900A, 可靠系数取 1.2。请按上述条件计算下列各题。(保留两位小数, 计算中采用短路电流实用计算, 忽略馈线及元件的电阻对短路电流的影响)。(2013)

(1) 计算 400V 母线三相短路时流过 DL 的最大短路电流值应为下列哪项数值?

(A) 1.91kA

(B) 1.75kA

(C) 1.53kA

(D) 1.42kA

答案: [B]

解答过程: 流过 DL 的电流就是系统提供的短路电流。根据《火力发电厂用电设计

技术规定》(DLT 5153—2002) 条文说明 7.1.2 条, 低压侧变压器短路阻抗的负误差可以不考虑, 计算如下:

$$X_T = \frac{U_d \%}{100} \times \frac{S_j}{S_{e.B}} = \frac{6}{100} \times \frac{100}{1.25} = 4.8$$

$$I''_B = \frac{I_j}{X_X + X_T} = \frac{9.16}{0.444 + 4.8} \text{ kA} \approx 1.75 \text{ kA}, \text{选 B。}$$

分析: 题干明确说明, 本题按计算中采用短路电流实用计算法进行计算, 而实用短路电流计算法是不考虑电阻的 (这一点从题干中可以看出, 题干指出忽略馈线及元件的电阻对短路电流的影响, 故不计入电阻的影响)。另外, 实用短路电流计算需要考虑系统电抗。但本题尚有一定争议, 根据是否考虑变压器短路阻抗的负误差和是否计入系统阻抗, 有以下一些解法可供参考。

1) 如考虑变压器短路阻抗的负误差, 计算如下:

$$X_T = 0.9 \frac{U_d \%}{100} \times \frac{S_j}{S_{e.B}} = 0.9 \times \frac{6}{100} \times \frac{100}{1.25} = 4.32$$

$$I''_B = \frac{I_j}{X_X + X_T} = \frac{9.16}{4.32} \text{ kA} \approx 2.12 \text{ kA}$$

2) 如考虑系统电抗和低压侧变压器短路阻抗的负误差, 则计算如下:

$$X_T = 0.9 \frac{U_d \%}{100} \times \frac{S_j}{S_{e.B}} = 0.9 \times \frac{6}{100} \times \frac{100}{1.25} = 4.32$$

$$I''_B = \frac{I_j}{X_X + X_T} = \frac{9.16}{4.32 + 0.444} \text{ kA} \approx 1.92 \text{ kA}, \text{答案接近于 A。}$$

3) 不考虑系统阻抗和低压侧变压器短路阻抗的负误差, 则计算如下:

$$X_T = \frac{U_d \%}{100} \times \frac{S_j}{S_{e.B}} = \frac{6}{100} \times \frac{100}{1.25} = 4.8$$

$$I''_B = \frac{I_j}{X_X + X_T} = \frac{9.16}{4.8} \text{ kA} \approx 1.91 \text{ kA}, \text{则答案选 A。}$$

(2) 计算 DL 的电流速断保护整定值和灵敏系数应为下列哪项数值?

- (A) 1.7kA, 5.36 (B) 1.75kA, 5.21
(C) 1.94kA, 9.21 (D) 2.1kA, 4.34

答案: [D]

解答过程: 根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》公式 (29-50), 电流速断保护的整定值按避越变压器外部故障的最大短路电流来整定:

$$I_{dz} = K_k \cdot I_{d.max}^{(3)} = 1.2 \times 1.75 \text{ kA} = 2.1 \text{ kA} \quad (\text{根据题干, 可靠系数取 } 1.2)$$

电流速断保护的动作电流还应避越空载投入变压器时的励磁涌流, 一般动作电流应大于变压器额定电流的 3~5 倍。本题中变压器的额定电流为 114.6A, 取 3~5 倍, 为 343.8A~573A, 2.1kA 满足这一要求。根据式 29-51, 系统保护装置的灵敏系统为

$$K_{lm} = \frac{I_{d.min}^{(2)}}{I_{dz}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{9.16}{0.87}}{2.1} \approx 4.34 \quad (I_{d.min}^{(2)} \text{ 按系统最小运行方式下, 变压器电源侧引出端发生})$$

两相金属性短路时，流过保护装置的最小短路电流，故不应计入变压器的电抗）

(3) 计算确定 1ZK 的电流速断保护整定值和灵敏度应为下列哪组数值？（短路电流中不考虑电动机反馈电流）

- (A) 1800A, 12.25 (B) 1800A, 15.31
(C) 2160A, 10.21 (D) 2160A, 12.76

答案：[C]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》公式 23-3，电动机电流速断保护的一次动作电流为

$$I_{dz} = K_k I_{qd} = 1.2 \times 1800A = 2160A$$

其中 1ZK 属于智能型断路器，根据题干，可靠系数取 1.2。

根据式（23-4）进行灵敏度校验

$$K_m = \frac{I_{d.min}^{(2)}}{I_{dz}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{144.3}{4.8 + 0.87}}{2.16} \approx 10.21 \quad (\text{考虑的是在 } 400V \text{ 母线上的最小运行模式下的三}$$

相短路电流，不考虑电动机的反馈电流，基准电流 $I^{(3)} = \frac{S_j}{\sqrt{3}U_j} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 0.4} \text{ kA} \approx 144.3 \text{ kA}$)

(4) 计算确定 DL 的过电流保护的整定值应为下列哪项数值？

- (A) 507.94A (B) 573A
(C) 609.52A (D) 9600A

答案：[C]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》公式 29-187，按躲过变压器（电抗器）所带负荷需要自启动的电动机最大起动电流之和进行整定，计算如下：

$I_{dz(2)} = K_k K_{zq} I_e = 1.2 \times 8000A = 9600A$ （ $K_{zq} I_e$ 就是变压器所带负荷需要自启动的电动机最大起动电流之和），再把它折算到变压器的高压侧为

$$I_{dz(1)} = I_{dz(2)} \times \frac{114.6}{1804} A = 9600 \times \frac{114.6}{1804} A \approx 609.8A, \text{ 其中 (1)、(2) 表示高压侧和低压侧。}$$

(5) 计算 ZK 的过电流保护的整定值应为下列哪项数值？

- (A) 3240A (B) 3552A
(C) 8000A (D) 9600A

答案：[D]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》公式 29-187，按躲过变压器（电抗器）所带负荷需要自启动的电动机最大起动电流之和进行整定，计算如下：

$$I_{dz(2)} = K_k K_{zq} I_e = 1.2 \times 8000A = 9600A$$

第十三章 照明

一、大纲要求 ★★★

- 1) 熟悉发电厂、变电所照明系统的设计要求;
- 2) 熟悉照明系统的供电方式;
- 3) 掌握照明设备的选择;
- 4) 掌握照度计算的基本方法;
- 5) 了解绿色照明的特点。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 10 分,基本上都是在专业知识里考查。考点集中,考试题目有一定难度,有计算。答题依据主要有《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第十八章、《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》(DL/T 5390—2007)、《水力发电厂照明设计规范》(DL/T 5140—2001)。主要考查照明方式和种类、照明种类、照明灯具、照度计算、照明网络供电及控制等。

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

(1) 下列哪类灯具的防爆结构不符合爆炸危险区域为 1 区的选型规定? (2012)

- (A) 固定式灯具的防爆结构采用隔爆型
- (B) 携带式电池灯具的防爆结构采用隔爆型
- (C) 整流器的防爆结构采用隔爆型
- (D) 指示灯类的防爆结构采用增安型

答案: [D]

依据:《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—1992) 表 2.5.3-4 可知爆炸危险区域 1 区内指示灯类的防爆结构不适宜采用增安型,可以采用隔爆型。

(2) 某电厂单元控制室的照度设计值为 300lx, 则其走廊通道的照度设计值不宜小于下列哪项值? (2012)

- (A) 15lx
- (B) 30lx
- (C) 60lx
- (D) 300lx

答案: [C]

依据:《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》(DL/T 5390—2007) 第 8.0.5 条。

8.0.5 主控制室、单元控制室、集中控制室、网络控制室及与其相邻及相通的距出入口 10m 左右范围内与走廊通道、楼梯间的照度值之比，不宜超过 5 倍。

(3) 220kV 变电所中，下列场所的工作面照度哪项是不正确的？(2011)

- (A) 控制室 300lx (B) 10kV 开关室 150lx
(C) 蓄电池室 25lx (D) 继电器室 300lx

答案：[C]

依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》(DL/T 5390—2007) 表 8.0.1-1，蓄电池室照度标准值应为 100lx。

(4) 发电厂、变电站中，照明线路的导线截面应按计算电流进行选择，某一单相照明回路有两只 200W 的卤钨灯、两只 150W 的气体灯，下列哪项数值是正确的？(2011)

- (A) 3.45A (B) 3.82A (C) 4.24A (D) 3.55A

答案：[D]

依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》(DL/T 5390—2007) 式 (10.5.1-1)、式 (10.6.1-1)、式 (10.6.1-2) 及式 (10.6.1-6) 有

$$I_{js} = \sqrt{(0.9I_{js1} + I_{js2})^2 + (0.436I_{js2})^2} = \sqrt{(0.9 \times 1.82 + 1.82)^2 + (0.436 \times 1.82)^2} A = 3.55 A$$

$$\text{式中, } I_{js1} = \frac{P_{js1}}{U_{exg} \cos \varphi} = \frac{360}{220 \times 0.9} A = 1.82 A$$

(其中 $P_{js1} = \sum P_z (1 + \alpha) = 2 \times 150 \times (1 + 0.2) = 360 W$ ， α 为镇流器与其他附件损耗系数，对气体放电灯 $\alpha = 0.2$ ，对卤钨灯取 0)

$$I_{js2} = \frac{P_{js2}}{U_{exg}} = \frac{400}{220} A = 1.82 A$$

(其中 $P_{js2} = \sum P_z (1 + \alpha) = 2 \times 200 \times (1 + 0) W = 400 W$)

(5) 火力发电厂中，照明供电线路的设计原则，下列哪一条是不对的？(2011)

- (A) 照明主干线路上连接的照明配电箱的数量不宜超过 5 个
(B) 厂区道路照明供电线路，应与建筑物入口门灯的照明分支线路分开
(C) 室内照明线路，每一个单相分支回路的工作电流不宜超过 15A
(D) 对高强气体放电灯每一个单相分支回路的工作电流不宜超过 35A

答案：[D]

依据：根据《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》(DL/T 5390—2007) 第 10.4.1、10.4.4、10.4.5、10.4.6 条。

10.4.1 照明主干线路

1 正常照明主干线路应采用三相四线制，大量采用气体放电灯的配电回路宜采用四芯等截面电缆。

2 应急照明主干线路：当经交直流切换装置供电的应采用两相制；当由保安电源供电的应急交流线路，应采用三相四线制。

3 照明主干线上连接的照明配电箱数量不宜超过 5 个。

10.4.4 厂区道路照明供电线路，应与室外照明线路分开。建筑区入口门灯可由建筑物内的照明分支线路提供，但应加装单独的开关。

10.4.5 内照明线路，每一个单相分支回路的工作电流不宜超过 15A。

10.4.6 对高强气体放电灯的照明回路，每一个单相分支回路的工作电流不宜超过 30A，并按启动和再启动条件，选择保护电器与检验电路的电压损失值。

由 10.4.1 条第 3 款可知 A 答案正确；由 10.4.4 条可知 B 答案正确；由 10.4.5 条可知 C 答案正确；由第 10.4.6 条可知 D 答案错误。

(6) 照明设计时，灯具端电压的偏移，不应高于额定电压的 105%。对视觉要求较高的主控制室、单元控制室、集中控制室等，这种偏移也不宜低于额定电压的 ()。
(2008)

- (A) 97.5% (B) 95% (C) 90% (D) 85%

▶ 答案：[A]

▶ 依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》(DL/T 5390—2007) 第 10.1.2 条：“照明灯具端电压的偏移，不应高于额定电压的 105%，也不宜低于额定电压的下列数值：1) 对视觉要求较高的主控制室、单元控制室、集中控制室、计算机室、主厂房、生产办公楼等室内照明为 97.5%。”

▶ 分析：本条对其他地方的端电压偏移也做了规定。

(7) 发电厂和变电所照明主干线路应符合下列哪项规定？(2008)

- (A) 正常照明主干线路应采用三相三线制
(B) 事故照明主干线路当由保安电源供电时应采用三相三线制
(C) 正常照明主干线路宜采用三相四线制
(D) 事故照明主干线路当由交直流切换装置供电时应采用三相五线制

▶ 答案：[C]

▶ 依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》(DL/T 5390—2007) 第 10.4.1 条第 1 款：“正常照明主干线宜采用三相四线制，大量气体放电光源的配电回路宜采用四芯等截面电缆”，可得 A 答案错误，C 答案正确；第 2 款：“应急照明主干线路当经直流切换装置供电的应采用两线制；当由保安电源供电的应急交流线路，应采用三相四线制”，可得 B、D 答案错误。

(8) 照明设计时，灯具端电压的偏移，不应高于额定电压的 105%，对视觉要求较高的主控室、单元控制室、集中控制室等，这种偏移也不宜低于额定电压的：(2013)

- (A) 97.5% (B) 95% (C) 90% (D) 85%

答案：[A]

依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》（DL/T 5390—2007）第 10.1.2 条。

10.1.2 照明灯具端电压的偏移，不应高于额定电压的 105%，也不宜低于其额定电压的下列数值：

1 对视角要求较高的主控制室、单元控制室、集中控制室、计算机室、主厂房、生产办公楼等室内照明为 97.5%。

2 运煤系统、其它辅助厂房等一般工作场所的室内照明，露天油库等露天工作场所的照明为 95%。对远离供电电源的工作场所，难以满足要求时，可降低至 90%。

3 应急照明、道路照明、警卫照明及电压为 12~24V 的照明为 90%。

(9) 变电所照明设计中，下列关于开关、插座的选择要求哪项是错误的？(2013)

(A) 潮湿多灰尘场所及屋外装设的开关和插座，应选用防水防尘型

(B) 办公室、控制室宜选三极式单相插座

(C) 生产车间单相插座额定电压应为 250V，电流不得小于 10A

(D) 在有爆炸、火灾危险的场所，不宜装设开关及插座

答案：[B]

依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》（DL/T 5390—2007）第 7.6.4 条。

7.6.4 开关和插座的选择，应符合下列原则：

1 对于不同电压等级的插座，其插孔形状应有所区别。

2 生产车间单相插座，应为三极式；办公室、控制室等，宜选用两极加三极联体插座。插座额定电压应为 250V，电流不得小于 10A。

3 在有爆炸、火灾危险的场所，不宜装设开关和插座，当需要装设时，应选用防爆型开关及插座。

4 潮湿、多灰尘场所及屋外装设的开关和插座，应选用防水防尘型。

2. 多项选择题

(1) 下列关于应急照明的规定哪些不正确？(2012)

(A) 直流供电的应急照明宜采用荧光灯

(B) 单元控制室主环内的应急照明照度，按正常照明照度值的 30% 选取

(C) 主厂房厂用配电装置室内应急照明地面的照度不应小于 20lx

(D) 直流应急照明的照度按正常照度值的 15% 选取

答案：[A、D]

依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》（DL/T 5390—2007）第 6.0.4 条：

“应急照明，当直流供电时，应采用能瞬时可靠点燃的白炽灯；当交流供电时，宜采用荧光

灯”，可得 A 答案错误；根据表 8.0.1-1，高低压厂用配电装置的照度标准值为 200lx，根据 8.0.4 条，应急照明的照度值表 8.0.1-1 的 10% ~ 15% 选取，故 C 答案正确；根据第 8.0.4 条：“主控制室、单元控制室、集中控制室、网络控制室主环内的应急照明照度，按正常照明照度值的 30% 选取，而直流应急和其他控制室照度分别按 10% 和 15% 选取”，可得 B 答案正确，D 答案错误。

(2) 在选择火力发电厂和变电站照明灯具时，依据绿色照明理念，T8 直管形荧光灯应配用下列哪些选项的镇流器？(2012)

- (A) 电子镇流器 (B) 恒功率整流器
(C) 传统型电感镇流器 (D) 节能型电感镇流器

▶ 答案：[A、D]

▶ 依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》(DL/T 5390—2007) 第 7.1.8 条第 2 款：“直管形荧光灯应配用电子镇流器或节能型电感镇流器。”

(3) 变电所中的动力、照明负荷较少，供电范围小，距离短，故一般由所用电屏直接配电。为了保证供电可靠性，对重要负荷应采用双回路供电方式，以下采用双回路供电的负荷是 ()。(2011)

- (A) 消防水泵 (B) 主变压器强油风（水）冷却装置
(C) 检修电源网络 (D) 断路器操作负荷

▶ 答案：[A、B、D]

▶ 依据：《220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155—2002) 条文说明 4.3.1 条：“为保证供电可靠性，对重要负荷应采用双回路供电方式，例如对主变压器冷却装置、消防水泵及断路器操作负荷等。”

(4) 220kV 无人值班变电所的照明种类一般可分为下列哪几类？(2011)

- (A) 正常照明 (B) 应急照明 (C) 警卫照明 (D) 障碍照明

▶ 答案：[A、C、D]

▶ 依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》(DL/T 5390—2007) 第 5.2.1 条：“发电厂变电站的照明种类可分为正常照明、应急照明、警卫照明和障碍照明。”根据第 5.2.4 条：“无人值班变电站不宜装设应急照明。”

(5) 火力发电厂主厂房的楼梯上安装的疏散照明，可选择下列哪几种照明光源？(2011)

- (A) 白炽灯 (B) 荧光灯 (C) 金属卤化物灯 (D) 高压汞灯

▶ 答案：[A、B]

▶ 依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》(DL/T 5390—2007) 第 6.0.4 条规定：“应急照明，当直流供电时，应采用能瞬时可靠点燃的白炽灯，当交流供电时，宜采用荧光灯”，又根据第 5.2.1 条，本题中的疏散照明属于应急照明的一种。

(6) 下列哪些场所的照明可选用白炽灯？(2008)

- (A) 需防止电磁波干扰的场所
- (B) 因光源频闪影响视觉效果的场所
- (C) 照度要求较高，照明时间较长的场所
- (D) 经常开闭灯的场所

► 答案：[A、D]

► 依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》（DL/T 5390—2007）第 6.0.3 条。

6.0.3 在下列工作场所的照明电源，可选用白炽灯：

- 1 应急照明要求瞬时启动和要求连续调光的场所，使用其他光源技术不合理时；
- 2 对防止电磁干扰要求特别严格的场所；
- 3 开关灯频繁的场合；
- 4 照度不高，且照明时间较短的场所；
- 5 对装饰有特殊要求的场所。

► 分析：C 答案应改为照度不高，且照明时间较短的场所。

(7) 宜用逐点计算法校验其照度值的是下列哪些场所？（2008）

- (A) 主控制室、网络控制室和计算机室
- (B) 主厂房
- (C) 反射条件较差的场所
- (D) 办公室

► 答案：[A、B、C]

► 依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》（DL/T 5390—2007）第 9.0.2 条。

9.0.2 生产过程中需要监视维护下列重要场所，宜用逐点计算法校验其照度值：

- 1 主控制室、网络控制室、单元控制室、计算机控制屏、台上垂直面和倾斜面；
- 2 主厂房、化学水处理室、水泵房、灰浆泵房等重要设备或重要观察点；
- 3 反射条件较差的场所，如运煤系统；
- 4 有特殊要求需要较精确验算工作面照度的场所。

(8) 发电厂、变电站照明设计中，下列哪些场所宜用逐点计算法校验其照度值？（2013）

- (A) 主控制室、网络控制室和计算机室控制屏
- (B) 主厂房
- (C) 反射条件较差的场所，如运煤系统
- (D) 办公室

► 答案：[A、B、C]

► 依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》（DL/T 5390—2007）第 9.0.2 条。

9.0.2 生产过程中需要监视维护下列重要场所，宜用逐点计算法校验其照度值：

- 1 主控制室、网络控制室、单元控制室、计算机室控制屏、台上垂直面和倾斜面；

- 2 主厂房、化学水处理室、水泵房、灰浆泵房等重要设备或重要观察点；
- 3 反射条件较差的场所，如运煤系统；
- 4 有特殊要求需要精确验算工作面照度的场所。

(9) 变电所中，照明设计选择照明光源时，下列哪些场所可选用白炽灯？（2013）

- （A）需要事故照明的场所
- （B）需防止电磁波干扰的场所
- （C）开关灯频繁的场所
- （D）照度高、照明时间长的场所

▶ **答案：** [B、C]

▶ **依据：**依据：《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》（DL/T 5390—2007）第6.0.3条。

6.0.3 在下列工作场所的照明光源，可选用白炽灯：

- 1 应急照明要求瞬时启动和要求连续调光的场所，使用其他光源技术经济不合理时；
- 2 对防止电磁干扰要求严格的场所；
- 3 开关灯频繁的场所；
- 4 照度不高，且照明时间较短的场所；
- 5 对装饰有特殊要求的场所。

第十四章 输电线路

一、大纲要求 ★★★

- 1) 熟悉输电线路路径的选择;
- 2) 掌握输电线路导、地线的选择;
- 3) 掌握输电线路电气参数的计算;
- 4) 了解杆塔塔头设计;
- 5) 了解输电线路对电信线路的影响及防护;
- 6) 掌握电线力学特性的计算;
- 7) 熟悉各种杆塔荷载的一般规定及计算;
- 8) 熟悉杆塔的定位校验;
- 9) 了解电线的防振。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试中分值大概占 50 分,其中专业知识占 20 分左右,案例占 30 分左右。考点分布较广,考试题目有一定难度。答题依据主要有《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)、《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010)、《220kV ~ 500kV 紧凑型架空送电线路设计技术规定》(DL/T 5217—2005)以及《输电线路对电信线路危险和干扰影响防护设计规程》(DL 5033—2006)。重点考查输电线路路径选择,输电线路导线、地线选择及电气参数计算,输电线路对电信线路的影响及防护,电线力学特性计算和电线的防振等内容。

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

(1) 下列哪种说法是正确的? (2012)

- (A) 选择输电线路的路径,应避开重冰区
- (B) 选择输电线路的路径,应避开不良地质地带
- (C) 选择输电线路的路径,应避开电台、机场等
- (D) 选择输电线路的路径,应考虑与电台、机场、弱电线等邻近影响

答案: [D]

依据:《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010)第 3.0.2、3.0.3 条、3.0.4 条。

3.0.2 路径选择应避免军事设施、大型工矿企业及重要设施等，符合城镇规划。

3.0.3 路径选择宜避开不良地质地带和采动影响区，当无法避让时，应采取必要的措施；宜避开重冰区、导线易舞动区及影响安全运行的其他地区；宜避开原始森林、自然保护和风景名胜区。

3.0.4 路径选择应考虑与电台、机场、弱电线路等邻近设施的相互影响。

► 分析：输电线路路径选择，经常出题。答题时注意“宜”和“应”的区别。

(2) 关于导线、地线在弧垂最低点的设计安全系数，下列哪种说法是不正确的？(2012)

- (A) 导线的设计安全系数不应小于 2.5
- (B) 地线的设计安全系数不应小于 2.5
- (C) 地线的设计安全系数，不应小于导线的设计安全系数
- (D) 地线的设计安全系数，应大于导线的设计安全系数

► 答案：[D]

► 依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 5.0.7 条：“导、地线在弧垂最低点的设计安全系数不应小于 2.5，悬挂点的设计安全系数不应小于 2.25。地线的设计安全系数不应小于导线的设计安全系数。”

► 分析：导线、地线安全系数，涉及导线、地线的安全，非常重要。这个知识点经常出题，有计算题。需要掌握安全系数的概念，答题时灵活处理。

(3) 在 500kV 长距离输电线路通道上，加装串联补偿电容器的作用是 ()。(2012)

- (A) 提高线路的自然功率
- (B) 提高系统电压稳定水平
- (C) 提高系统静态稳定水平
- (D) 抑制系统次同步谐振

► 答案：[C]

► 依据：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 542 页。串联补偿的目的是提高超高压远距离输电线路的稳定极限和送电能力，提高系统的静稳定能力和动稳定能力。

(4) 220kV 架空线路的某跨越线档，导线悬挂点高度为 25m，弧垂为 12m，在距此档 100m 处发生了雷云对地放电，雷电流幅值为 60kA。该线路档上产生的感应过电压最大值为下列哪个数值？(2012)

- (A) 375kV
- (B) 255kV
- (C) 195kV
- (D) 180kV

► 答案：[B]

► 依据：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 式 (2) 有

$$U_i \approx 25 \frac{I h_c}{S} = 25 \times \frac{60 \times 17}{100} \text{kV} = 255 \text{kV}$$

► 分析： h_c 指的是导线的平均高度，计算方法可参考《电力工程高压送电线路设计手

册》（第二版）第 130 页例题 2-12， $h_c = \left(25 - \frac{2}{3} \times 12\right) \text{m} = 17\text{m}$ 。该题属于过电压范畴，但对象是输电线路，因此归类于本章。

(5) 在一般档距中央，导线与地线间的距离，应按 $S \geq 0.012L + 1$ 公式校验（ L 为档距， S 为导线与地线间的距离），计算时采用的气象条件为（ ）。(2012)

- (A) 气温 +15℃，无风、无冰
- (B) 年平均气温：气温 +10℃，无风、无冰
- (C) 最高气温：气温 +40℃，无风、无冰
- (D) 最低气温：气温 -20℃，无风、无冰

答案：[A]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 7.0.15 条注：计算条件为气温 +15℃，无风、无冰。

(6) 覆冰区段，与 110kV 线路 LGJ-240/30 导线配合的镀锌钢绞线最小标称截面小于（ ）。(2012)

- (A) 35mm²
- (B) 50mm²
- (C) 80mm²
- (D) 100mm²

答案：[C]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）5.0.12 条：地线采用镀锌钢绞线时与导线的配合宜符合表 5.0.12 的规定。

表 5.0.12 地线采用镀锌钢绞线时与导线的配合

导线型号		LGJ-185/30 及以下	LGJ-185/45 ~ LGJ-400/35	LGJ-400/50 及以上
镀锌钢绞线最小标称截面 (mm ²)	无冰区段	35	50	80
	覆冰区段	50	80	100

注：500kV 及以上输电线路无冰区段、覆冰区段地线采用镀锌钢绞线时最小标称截面应分别不小于 80mm²、100mm²。

(7) 在海拔不超过 1000m 的地区，在相应风偏条件下，带电部分与杆塔构件（包括拉线、脚钉等）的最小间隙哪个是正确的？(2012)

- (A) 110kV 线路的最小间隙：工频电压 0.25m；操作过电压 0.70m；雷电过电压 1.00m
- (B) 110kV 线路的最小间隙：工频电压 0.20m；操作过电压 0.70m；雷电过电压 1.00m
- (C) 110kV 线路的最小间隙：工频电压 0.25m；操作过电压 0.75m；雷电过电压 1.00m
- (D) 110kV 线路的最小间隙：工频电压 0.25m；操作过电压 0.70m；雷电过电压 1.05m

答案：[A]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）7.0.9 条。

7.0.9 在海拔不超过 1000m 的地区，在相应风偏条件下，带电部分与杆塔构件（包括拉线、脚钉等）的最小间隙，应符合表 7.0.9-1 和 7.0.9-2 的规定。

表 7.0.9-1 110kV ~ 500kV 带电部分与杆塔构件（包括拉线、脚钉）的最小间隙 m

标称电压(kV)	110	220	330	500	
工频电压	0.25	0.55	0.90	1.20	1.30
操作过电压	0.70	1.45	1.95	2.50	2.70
雷电过电压	1.00	1.9	2.30	3.30	3.30

表 7.0.9-2 750kV 带电部分与杆塔构件（包括拉线、脚钉）的最小间隙 m

标称电压(kV)		750	
海拔(m)		500	1000
工频电压	I 串	1.80	1.90
操作过电压	边相 I 串	3.80	4.00
	中相 V 串	4.60	4.80
雷电过电压		4.20(或按绝缘子串放电电压的 0.80 配合)	

注：1. 按雷电过电压和操作过电压情况校验间隙时的相应气象条件，可按本规范附录 A 的规定取值。
2. 按运行电压情况校验间隙时风速采用基本风速修正至相应导线平均高度处的值及相应气温。
3. 当因高海拔而需要增加绝缘子数量时，雷电过电压最小间隙也应相应增大。
4. 500kV 空气间隙栏，左侧数据适合于海拔高度不超过 500m 地区；右侧适用于超过 500m 但不超过 1000m 的地区。

(8) 某架空送电线路采用单悬垂线夹 XGU-5A，破坏荷重 70kN，其最大使用荷载不应超过以下哪个数值？(2012)

- (A) 35kN (B) 28kN (C) 25.9kN (D) 30kN

答案：[B]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 6.0.3 条可得金具强度的安全系数在最大荷载情况下不应小于 2.5，即

$$K_1 = \frac{T_R}{T} \geq 2.5 \Rightarrow T \leq \frac{T_R}{2.5} = \frac{70}{2.5} \text{kN} = 28 \text{kN}$$

式中， K_1 为安全系数； T_R 为悬垂线夹的额定破坏荷载； T 为悬垂线夹最大使用荷载。

(9) 输电线路悬垂串采用 V 型串时，可采用下列哪种方法？(2012)

- (A) V 型串两肢之间夹角的一半可比最大风偏角小 $5^\circ \sim 10^\circ$
(B) V 型串两肢之间夹角的一半与最大风偏角相同
(C) V 型串两肢之间夹角的一半可比最大风偏角小 3°
(D) V 型串两肢之间夹角的一半可比最大风偏角小 5°

答案：[A]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 6.0.8 条，即输电线路悬垂 V 型串两肢之间夹角的一半可比最大风偏角小 $5^\circ \sim 10^\circ$ ，或通过试验确定。

(10) 悬垂型杆塔（不含大跨越悬垂型杆塔）的断线情况，应计算下列哪种载荷组？(2012)

- (A) 单回路杆塔，单导线断任意一相导线，地线未断
- (B) 单回路杆塔，单导线断任意一相导线，断任意一根地线
- (C) 双回路杆塔，同一档内，单导线断任意一相导线，地线未断
- (D) 多回路杆塔，同一档内，单导线断任意两相导线

答案：[A]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 10.1.5 条。

10.1.5 悬垂型杆塔（不含大跨越悬垂型杆塔）的断线情况，应按 5℃、有冰、无风的气象条件，计算下列荷载组合：

1 对单回路杆塔，单导线断任意一相导线（分裂导线任意一相导线有纵向不平衡张力），地线未断；断任意一根地线，导线未断。

2 对双回路杆塔，同意档内，单导线断任意两相导线（分裂导线任意两相导线有纵向不平衡张力）；同一档内，断一根地线，单导线断任意一相导线（分裂导线任意一相有纵向不平衡张力）。

3 对多回路杆塔，同一档内，单导线断任意三相导线（分裂导线任意三相导线有纵向不平衡张力）；同一档内，断一根地线，单导线断任意两相导线（分裂导线任意两相导线有纵向不平衡张力）。

(11) 中性点非直接接地系统在居民区的无地线钢筋混凝土杆和铁塔应接地，其接地电阻不应超过以下哪个数值？（2012）

- (A) 15Ω
- (B) 20Ω
- (C) 25Ω
- (D) 30Ω

答案：[D]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 7.0.17 条，中性点非直接接地系统在居民区的无地线钢筋混凝土杆和铁塔应接地，其接地电阻不应超过 30Ω。

(12) 架空送电线路每基杆塔都应良好接地，降低接地电阻的主要目的是（ ）。（2012）

- (A) 减小入地电流引起的跨步电压
- (B) 改善导线绝缘子串上的电压分布（类似于均压环的作用）
- (C) 提高线路的反击耐雷水平
- (D) 良好的工作接地，确保带电作业的安全

答案：[C]

依据：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）第 5.1.2 的 c) 条：“因雷击架空线路杆顶形成作用于线路绝缘的雷电反击过电压，与雷电参数、杆塔型式、高度与接地电阻有关；宜适当选取杆塔的接地电阻，以减少雷电反击过电压的危害。”

(13) 选择送电线路的路径时，下列哪项原则是正确的？（2011）

- (A) 选择送电线路的路径, 应避开易发生导线舞动地区
- (B) 选择送电线路的路径, 应避开重冰区、不良地质地带、原始森林区
- (C) 选择送电线路的路径, 宜避开重冰区、不良地质地带、原始森林区
- (D) 选择送电线路的路径, 应避开邻近电台、机场、弱电线路等

► 答案: [C]

► 依据: 《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 3.0.3 条: “路径选择宜避开不良地质地带和采动影响区, 当无法避让时, 应采取必要的措施; 宜避开重冰区、导线易舞动区及影响安全运行的其他地区; 宜避开原始森林、自然保护区和风景名胜区。”故 A、B 答案错误, C 答案正确。又由第 3.0.4 条: “路径选择应考虑与电台、机场、弱电线路等临近设施的相互影响”, 可知 D 答案错误。

► 分析: 本题解答跟第 (1) 题类似。

(14) 在轻冰区, 对于耐张段长度, 下列哪项要求是正确的? (2011)

- (A) 单导线线路不宜大于 10km
- (B) 2 分裂导线线路不宜大于 10km
- (C) 单导线线路不大于 10km
- (D) 分裂导线线路不大于 10km

► 答案: [B]

► 依据: 《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 3.0.7 条: “轻、中、重冰区的耐张段长度分别不宜大于 10km、5km 和 3km, 且单导线线路不宜大于 5km。当耐张段长度较长时应采取防串倒措施。在高差或档距相差悬殊的山区和重冰区等运行条件较差的地段, 耐张段长度应适当缩短。输电线路与主干铁路、高速公路交叉, 应采用独立耐张段。”

► 分析: 关于耐张段长度的知识点, 经常出题。需要仔细区别“应”和“宜”, 否则容易出错。

(15) 在轻冰区, 设计一条 500kV 架空线路, 采用 4 分裂导线, 子导线型号为 LGJ-300/40。对于耐张段长度, 下列哪项要求是正确的? (2011)

- (A) 不大于 10km
- (B) 不宜大于 10km
- (C) 不大于 20km
- (D) 不宜大于 20km

► 答案: [B]

► 依据: 《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 3.0.7 条可得轻冰区的耐张段长度不宜大于 10km。

► 分析: 本题考查输电线路耐张段长度。

(16) 对海拔不超过 1000m 海拔地区, 采用现行钢芯铝绞线国标时, 给出了可不验算电晕的导线最小直径。下列哪项是不正确的? (2011)

- (A) 110kV, 导线外径为 $1 \times 9.6\text{mm}$

- (B) 220kV, 导线外径为 $1 \times 21.6\text{mm}$
 (C) 330kV, 导线外径为 $1 \times 33.6\text{mm}$
 (D) 500kV, 导线外径为 $1 \times 33.6\text{mm}$

答案: [D]

依据:《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 5.0.2 条。

5.0.2 输电线路的导线截面和分裂型式应满足电晕、无线电干扰和可听噪声等要求。当选用现行国家标准《圆线同心绞架空导线》GB/T 1179 中的钢芯铝绞线时,海拔不超过 1000m 时可不验算电晕的导线最小外径应符合表 5.0.2 的规定。

表 5.0.2 可不比验算电晕的导线最小外径

标称电压(kV)	110	220	330		550			750		
导线外径(mm)	9.6	21.6	33.6	2×21.6 3×17.1	2×36.24	3×26.82	4×21.6	4×36.9	5×30.20	6×25.50

分析: 电晕主要出现在 110kV 及以上的变电所和线路上。电晕的产生是由于不平滑的导体产生不均匀的电场, 在不均匀的电场周围曲率半径小的电极附近当电压升高到一定值时, 由于空气游离就会发生放电, 形成电晕。电晕放电将产生光、可听噪声、无线电杂音、导线振动、臭氧和其他生成物, 同时还产生电能损失。选用合适的导线截面和分裂型式, 可有效降低电晕带来的危害。

(17) 某线路的导线最大使用张力允许值为 35000N, 则该导线年平均运行张力允许值应为 ()。(2011)

- (A) 21875N (B) 18700N (C) 19837N (D) 17065N

答案: [A]

依据:《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 5.0.7 条可知导线和地线的设计安全系数不小于 2.5。根据式 (5.0.8) 可得导线弧垂最低点的最大张力 $T_{\max}$ 满足

$$T_{\max} \leq \frac{T_p}{K_c} \Rightarrow T_p \geq T_{\max} \times K_c = 35000 \times 2.5 \text{ N} = 87500 \text{ N}$$

式中, T_p 为导线的拉断力。又根据表 5.0.13 可知考虑不论档距大小的情况, 平均运行张力的上限应为拉断力的 25%, 故有年平均运行张力的上限 $T_{\max} \geq 87500 \times 25\% \text{ N} = 21875 \text{ N}$

分析: 本题并没有给出输电线路档距的情况, 只能按无论档距大小处理。本题若取年平均运行张力是拉断力的 22%, 则得不到正确答案。

(18) 某线路的导线年平均运行张力允许值为 35300N, 导线在弧垂最低点的最大设计张力允许值为多少?(2011)

- (A) 56480N (B) 54680N (C) 46890N (D) 59870N

答案: [A]

依据：1) 《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 表 5.0.13 可知在不论档距大小的情况下，平均运行张力的上限应为拉断力的 25%，故有年平均运行张力上限 = 拉断力 $T_p \times 25\%$ 。从而有

$$T_p = 35300 \times 4 \text{ N} = 141200 \text{ N}$$

2) 根据第 5.0.7 条，导线和地线的设计安全系数不小于 2.5。根据式 (5.0.8)，导线的最大设计张力为

$$T_{\max} \leq \frac{T_p}{K_c} = \frac{141200}{2.5} \text{ N} = 56480 \text{ N}$$

分析：本题是上一题的反问题，理解了年平均运行张力，安全系数等概念后无难度。本题若取年平均运行张力是拉断力的 22%，则得不到正确答案。

(19) 在架空送电线路设计中，下面哪项要求是符合规程规定的？(2011)

- (A) 导、地线悬挂点的设计安全系数均应大于 2.25
- (B) 在正常大风或正常覆冰时，弧垂最低点的最大张力不应超过拉断力的 60%
- (C) 在稀有大风或稀有覆冰时，悬挂点的最大张力不应超过拉断力的 77%
- (D) 在弧垂最低点，导、地线的张力设计安全系数宜大于 2.5

答案：[C]

依据：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 5.0.7、5.0.9 条。

5.0.7 导、地线在弧垂最低点的设计安全系数不应小于 2.5，悬挂点的设计安全系数不应小于 2.25。地线的设计安全系数不应小于导线的设计安全系数。

5.0.9 导、地线在稀有风速或稀有覆冰气象条件时，弧垂最低点的最大张力不应超过其导、地线拉断力的 70%。悬挂点的最大张力，不应超过导、地线拉断力的 77%。

本题中，根据 5.0.7 条，可得 A、D 答案错误；根据第 5.0.9 条，可得 B 答案错误、C 答案正确。

分析：本题考查各种工况下导线、地线悬挂点安全系数。

(20) 在海拔 500m 以下地区，有一单回 220kV 送电线路，采用三相 I 型绝缘子串的酒杯塔、绝缘子串长约为 3.0m、导线最大弧垂为 16m 时，线间距离不宜小于 ()。(2011)

- (A) 6.5m
- (B) 5.8m
- (C) 5.2m
- (D) 4.6m

答案：[B]

依据：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 8.0.1 条。

8.0.1 导线的线间距离结合运行经验确定，并应符合下列规定：

1 对 1000m 以下档距，水平线间距离宜按下式计算：

$$D = k_i L_k + \frac{U}{110} + 0.65 \sqrt{f_c} \quad (8.0.1-1)$$

式中 k_i ——悬垂绝缘子串系数，应符合表 8.0.1-1 规定的数值；

D ——导线水平线间距离（m）；

L_k ——悬垂绝缘子串长度（m）；

U ——系统标称电压（kV）；

f_c ——导线最大弧垂（m）。

表 8.0.1-1 k_i 系数

悬垂绝缘子串型式	I - I 型	I - V 型	V - V 型
k_i	0.4	0.4	0

注：一般情况下，使用悬垂绝缘子串的杆塔，其水平线间距离与档距的关系，可按本规范附录 D 的规定取值。

根据式 8.0.1-1 可得：

$$D = 0.4L_k + \frac{U}{110} + 0.65\sqrt{f_c} = \left(0.4 \times 3 + \frac{220}{110} + 0.65 \times \sqrt{16}\right) \text{m} = 5.8 \text{m}$$

分析：导线间距离与所使用绝缘子串型式、系统标称电压以及导线的最大弧垂有关。

(21) 某采用双地线的单回路架空送电线路，相导线按水平排列，地线间的水平距离为 25m，导地线间的垂直距离不应小于（ ）。(2011)

- (A) 4m (B) 5m (C) 6m (D) 7m

答案：[B]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 7.0.15 条，即杆塔上两根地线之间的距离，不应超过地线与导线间垂直距离的 5 倍。

本题已知地线间水平距离为 25m，设导地线间垂直距离为 l ，则有 $25\text{m} \leq 5l \Rightarrow l \geq 5\text{m}$ 。

(22) 中性点直接接地系统的三条架空送电线路经计算，对邻近某条电信线路的噪声计电动势分别是 5.0mV、4.0mV、3.0mV，则该电信线路的综合噪声计电动势应为下列哪项数值？(2011)

- (A) 5.0mV (B) 4.0mV (C) 7.1mV (D) 12.0mV

答案：[C]

依据：《输电线路对电信线路危险和干扰影响防护设计规程》(DL/T 5033—2006) 第 6.1.1 条第 3 款：对受多条输电线路干扰影响的电信线路，应按平方和的平方根计算多条输电线路的合成干扰影响，则有

$$e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2} = \sqrt{5^2 + 4^2 + 3^2} \text{mV} = 7.1 \text{mV}$$

分析：本题考查架空输电线路对邻近电信线路产生的噪声计电动势的计算。

(23) 某导线的单位自重为 1.113kg/m，在最高气温时的水平张力为 18000N，请问，档距为 600m 时的最大弧垂约为多少米？(按平抛物线考虑) (2011)

- (A) 32m (B) 27m (C) 23m (D) 20m

► 答案: [B]

► 依据:《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)表 3-3-1, 设导线的截面积为 S , 则有

$$f_m = \frac{\gamma l^2}{8\sigma_0} = \frac{\frac{1.113 \times 9.8}{S} \times 600^2}{8 \times \frac{18000}{S}} \text{m} = 27.3 \text{m}$$

► 分析: 本题考查各种工况、档距下的导线最大弧垂的计算, 表 3-3-1 非常重要, 要求掌握公式中的各变量的含义和取值。

(24) 若线路导线的自重比载为 $32.33 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$, 高温时的应力为 $52 \text{N}/\text{mm}^2$, 操作过电压工况时的应力为 $60 \text{N}/\text{mm}^2$, 某塔的水平档距为 400m , 高温时垂直档距为 300m , 则该塔操作过电压工况时的垂直档距为多少米? (2011)

- (A) 450m (B) 400m (C) 300m (D) 285m

► 答案: [D]

► 依据:《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)式 (3-3-12):

高温时:

$$l_v = l_H + \frac{\sigma_0}{\gamma_v} \alpha \Rightarrow 300 = 400 + \frac{52}{32.33 \times 10^{-3}} \alpha \Rightarrow \alpha = -0.062$$

操作过电压工况:

$$l_v = l_H + \frac{\sigma'_0}{\gamma_v} = \left(400 - \frac{60}{32.33 \times 10^{-3}} \times 0.062 \right) \text{m} = 285 \text{m}$$

► 分析: 需要掌握水平档距和垂直档距的物理概念和计算公式。水平档距指的是当计算杆塔所承受的电线横向(风)荷载时, 其荷载通常近似认为是电线单位长度上的风压与杆塔两侧档距平均值的乘积。垂直档距指的是当计算杆塔所承受的电线垂直荷载时, 其荷载通常近似认为是电线单位长度垂直荷载与杆塔两侧电线最低点间水平距离的乘积。

(25) 海拔高度不超过 1000m 的地区, 220kV 线路的操作过电压及工频电压间隙应为下列哪项数值? (2011)

- (A) 1.52m, 0.578m (B) 1.45m, 0.55m
(C) 1.3m, 0.5m (D) 1.62m, 0.58m

► 答案: [B]

► 依据:《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010)表 7.0.9-1。

(26) 某 500kV 线路中, 一直线塔的前侧档距为 450m , 后侧档距为 550m , 该塔的水平档距为下列哪项数值? (2011)

- (A) 该塔的水平档距为 450m (B) 该塔的水平档距为 500m
(C) 该塔的水平档距为 550m (D) 该塔的水平档距为 1000m

► 答案: [B]

依据：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）式（3-3-9）有

$$l_H = \frac{l_1 + l_2}{2} = \frac{450 + 550}{2} \text{m} = 500 \text{m}$$

分析：本题为直线塔，不考虑档距两侧杆塔的高差。

(27) 高压送电线路设计中垂直档距的意义是（ ）。(2008)

- (A) 杆塔两侧电线最低点之间的水平距离
- (B) 杆塔两侧电线最低点之间的垂直距离
- (C) 一档内的电线长度
- (D) 悬挂点两侧档距之和的一半

答案：[A]

依据：《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）第 183 页的内容可知当计算杆塔结构所承受的电线垂直荷载时，其荷载通常近似认为是电线单位长度上的垂直荷载与杆塔两侧电线最低点（O 点）间的水平距离之乘积，此距离因系供计算垂直荷载之用故称为“垂直档距”。

分析：本题考查垂直档距的概念。

(28) 架空送电线路对电信线路干扰影响，县电话局至县以下电话局的电话网络，音频双线电话回路的噪声计电动势允许值为（ ）。(2008)

- (A) 12mV
- (B) 10mV
- (C) 15mV
- (D) 30mV

答案：[B]

依据：《输电线对电信线路危险和干扰影响防护设计规程》（DL/T 5033—2006）第 4.2.1 条。

4.2.1 音频双线电话回路噪声计电动势允许值应符合下列规定：

- 1 县电话局至县及以上电话局的电话回路为 4.5mV。
- 2 县电话局至县以下电话局的电话回路为 10mV。
- 3 业务电话回路为 7mV。

(29) 我国架空线路计算常用电线状态方程式，下列哪种说法是正确的？(2008)

- (A) 一般状态方程是精确的悬链线状态方程简化后的结果
- (B) 基于架空电线的观测数据和经验，根据弹性定律和热胀冷缩定律推导出来的公式
- (C) 基于对架空电线的观测数据和经验，总结出来的公式
- (D) 架空电线的曲线方程用抛物线描述，按照材料力学基本定律（弹性定律和热胀冷缩定律）导出的应力变化规律

答案：[D]

依据：由《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）式（3-3-1）可知，常用电线的状态方程是考虑电线的弹性伸长及温度伸长并利用两种气象状态下档内原始线长不变的

原则列出来的。

(30) 架空送电线路电线的悬点应力不能超过一定值，下面哪种说法是正确的？(2008)

- (A) 电线悬点应力最大可以为年平均应力的 2.5 倍
- (B) 电线悬点应力最大可以为年平均应力的 2.25 倍
- (C) 电线悬点应力的安全系数不应小于 2.5 倍
- (D) 电线悬点应力的安全系数不应小于 2.25 倍

答案：[D]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 5.0.7 条。

5.0.7 导、地线在弧垂最低点的设计安全系数不应小于 2.5，悬挂点的设计安全系数不应小于 2.25。地线的设计安全系数不应小于导线的设计安全系数。

分析：本题考查导线悬挂点应力安全系数。

(31) 某架空送电线路给定离地高 10m 高的基准设计风速 $v = 30\text{m/s}$ ，求离地高 20m 高时的基准风压 ()。(2008)

- (A) 0.563kN/m^2
- (B) 0.411kN/m^2
- (C) 0.703kN/m^2
- (D) 0.432kN/m^2

答案：[C]

依据：先求出 20m 高度的风速，根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 式 (3-1-7) 有 20m 高度的风速为

$$v_s = v_T \left(\frac{h_s}{h_i} \right)^\alpha = 30 \times \left(\frac{20}{10} \right)^{0.16} \text{m/s} = 33.52\text{m/s}$$

根据式 (3-1-8) 可得

$$P_0 = \frac{v_0^2}{1600} = \frac{33.52^2}{1600} \text{kN/m}^2 = 0.702\text{kN/m}^2$$

分析：空气在地球表面流动时，就成为“风”。由于气流与地面摩擦而使气流（风速）降低，降低的速度与地面粗糙度有关，地面粗糙度越大，降低就越多。反过来，在地面上向上考察，风速随高度增加而增大，一般按指数公式进行计算，指数 α 与地面粗糙度有关。通常认为，在离地面高度为 300 ~ 500m 时，风速不再受地面粗糙度的影响，亦即达到所谓的“梯度风速”，该高度称为“梯度风高度”。梯度风高度对 A、B、C、D 四类地区分别为 300m、350m、400m、450m。风速随高度的变化可以用 $v_s = v_T \left(\frac{h_s}{h_i} \right)^\alpha$ 来计算。其中 α 为地面粗糙系数，对 A 类、B 类和 C 类地区分别取 0.12，0.16，0.22。工程计算一般取 0.16，即取为 B 类地区的地面粗糙度系数。

(32) 220kV 送电线路在跨越电力线时，下列哪种说法是正确的？(2008)

- (A) 跨越电力线杆顶和跨越电力线档距中央的间隙要求一样
- (B) 跨越电力线杆顶的间隙要大于跨越电力线档距中央的间隙

- (C) 跨越电力线杆顶的间隙要小于跨越电力线档距中央的间隙
- (D) 跨越有地线电力线的间隙要小于跨越无地线电力线的间隙

答案：[A]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）表 13.0.11 备注：对 500kV 及 750kV，跨越电力线杆顶（括号内的数值）的间隙大于跨越电力线档距中央的间隙。对于 330kV 及以下两者的间隙要求是一样的。

(33) 送电线路在跨越标准轨距铁路、高速公路及一级公路时，对被跨越物距离计算，下列哪种说法是正确的？(2008)

- (A) 无论档距大小，最大弧垂应按导线温度 70℃ 计算
- (B) 无论档距大小，最大弧垂应按导线温度 40℃ 计算
- (C) 跨越档距超过 200m，最大弧垂应按导线温度 40℃ 计算
- (D) 跨越档距超过 200m，最大弧垂应按导线温度 70℃ 计算

答案：[D]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 13.0.1 条注 3：“输电线路与标准轨距铁路、高速公路及一般公路交叉时，如交叉档距超过 200m，最大弧垂应按导线允许温度计算，导线的允许温度按不同要求取 +70℃ 或 +80℃ 计算。”

分析：规范规定一般情况下，导线对地面、建筑物、树木、铁路、河流、管道、索道及各种架空线路的距离，应根据导线运行温度 40℃（若导线按允许温度 80℃，导线运行温度取 50℃）情况或覆冰情况求得的最大弧垂计算垂直距离。

(34) 交流 500kV 单回送电线路在非居民区的对地距离有两个标准，导线水平排列为 11m，导线三角排列为 10.5m，其主要原因是（ ）。(2008)

- (A) 控制地面电场强度
- (B) 控制地面磁感应强度
- (C) 控制无线电干扰
- (D) 控制可听噪声

答案：[A]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 13.0.2 条、13.0.2 条文说明及表 13.0.2-1。

13.0.2 导线对地面的最小距离，以及与山坡、峭壁、岩石之间的最小净空距离应符合以下规定：

1 在最大计算弧垂情况下，导线对地面的最小距离应符合表 13.0.2-1 规定的数值。

表 13.0.2-1 导线对地面的最小距离 m

路线经过地区	标称电压				
	110	220	330	500	750
居民区	7.0	7.5	8.5	14	19.5
非居民区	6.0	6.5	7.5	11(10.5*)	15.5**(13.7***)
交通困难地区	5.0	5.5	6.5	8.5	11.0

注：* 的值用于导线三角排列的单回路。
** 的值对应导线水平排列单回路的农业耕作区。
*** 的值对应导线水平排列单回路的非农业耕作区。

► 分析：输电线路通过非居民区的对地距离需要考虑静电场强的影响，避免引起的暂态电击对人体造成疼痛甚至人身伤亡事故。

(35) 架空送电线路导、地线是否需要采取防振措施主要与下列哪个因素有关？(2008)

- (A) 最大风速
- (B) 最低温度
- (C) 最大张力
- (D) 平均运行张力

► 答案：[C]

► 依据：由《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 5.0.13 条可知防振措施主要与输电线路档距及输电走廊所处地区情况、导地线平均运行张力的上限(即最大张力)有关。

(36) 下列金具哪项属于防振金具？(2008)

- (A) 防振锤
- (B) 悬垂线夹
- (C) 导线间隔棒
- (D) 联板

► 答案：[A]

► 依据：《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 表 5-2-1。

► 分析：悬垂线夹的作用是将导线固定在直线杆塔的悬垂绝缘子串上。导线间隔棒的作用是固定分裂导线排列的几何形状。联板的作用是将绝缘子组成两联、三联或者更多联，并将绝缘子串与杆塔横担或与线夹之间相连接等。

(37) 220kV 送电线路通过果树、经济作物林或城市灌木林不应砍伐通道，其跨越最小垂直距离不应小于以下哪个数值？(2008)

- (A) 3.5m
- (B) 3.0m
- (C) 4.0m
- (D) 4.5m

► 答案：[A]

► 依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 13.0.6 条的第 4 款。

4 输电线路通过果树、经济作物林或城市灌木林不应砍伐出通道。导线与果树、经济作物、城市绿化灌木一级街道行道树之间的最小垂直距离，应符合表 13.0.6-3 规定的数值。

表 13.0.6-3 导线与果树、经济作物、城市绿化灌木及街道树之间的最小垂直距离

标称电压(kV)	110	220	330	500	750
垂直距离(m)	3.0	3.5	4.5	7.0	8.5

► 分析：输电线路的对地距离及交叉跨越情况很多，答题时只需对号入座即可。

(38) 输电线路跨越三级弱电线路（不包括光缆和埋地电缆）时，输电线路与弱电线路的交叉角应符合下列哪项要求？(2013)

- (A) $\geq 45^\circ$
- (B) $\geq 30^\circ$
- (C) $\geq 15^\circ$
- (D) 不限制

答案：[D]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 13.0.7 条。

13.0.7 输电线路跨越弱电线路（不包括光缆和埋地电缆）时，输电线路与弱电线路的交叉角应符合表 13.0.7 的规定。

表 13.0.7 输电线路与弱电线路的交叉角

弱电线路等级	一级	二级	三级
交叉角(°)	≥45	≥30	不限制

(39) 某工程导线采用符合《圆线同心绞架空导线》（GB1179—1999）规定的钢芯铝绞线，其计算拉断力为 123400N，当导线的最大使用张力为下列哪个数值时，设计安全系数为 2.5？（2013）

- (A) 46892N (B) 49360N (C) 30850N (D) 29308N

答案：[B]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 5.0.8 条，导、地线在弧垂最低点的最大张力应按式计算：

$$T_{\max} \leq \frac{T_p}{K_c} = \frac{123400}{2.5} \text{N} = 49360 \text{N}, \text{ 如果取安全系数取 } 2.5, \text{ 则刚好为 } 49360 \text{N}.$$

(40) 导线在某工况时的水平风比载为 $30 \times 10^{-3} \text{N/m} \cdot \text{mm}^2$ ，综合比载为 $50 \times 10^{-3} \text{N/m} \cdot \text{mm}^2$ ，水平应力为 80N/mm^2 。若某档档距为 400m，高差为 40m，导线最低点到较高悬挂点间的水平距离为下列哪项数值？（按平抛物线考虑）（2013）

- (A) 360m (B) 400m (C) 467m (D) 500m

答案：[A]

依据：《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）表 3-3-1，导线最低点到悬挂点电线间水平距离（按平抛物线考虑）为：

$$l_{OA} = \frac{l}{2} - \frac{\sigma_0}{\gamma} \lg \beta = \left(\frac{400}{2} - \frac{80}{50 \times 10^{-3}} \times \frac{40}{400} \right) \text{m} = 40 \text{m}$$

$$l_{OB} = \frac{l}{2} + \frac{\sigma_0}{\gamma} \lg \beta = \left(\frac{400}{2} + \frac{80}{50 \times 10^{-3}} \times \frac{40}{400} \right) \text{m} = 360 \text{m}$$

分析：本题要求导线最低点到较高悬挂点间的水平距离，应该是 l_{OB} ，具体要结合表 3-3-1 后面的图形来理解。

2. 多项选择题

(1) 对于同塔双回或多回路，杆塔上地线对边导线的保护角，应符合下列哪些要求？（2012）

- (A) 220kV 及以上线路的保护角均不宜大于 0°

- (B) 110kV 线路的保护角不宜大于 10°
- (C) 220kV 及以上线路的保护角均不宜大于 5°
- (D) 110kV 线路的保护角不宜大于 15°

► 答案: [A、B]

► 依据:《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 7.0.14 条。

7.0.14 杆塔上地线对边导线的保护角,应符合下列要求:

- 1 对于单回路,330kV 及以下线路的保护角不宜大于 15° ,500kV~750kV 线路的保护角不宜大于 10° 。
- 2 对于同他双回或多回路,110kV 线路的保护角不宜大于 10° ,220kV 及以上线路的保护角均不宜大于 0° 。
- 3 单地线线路不宜大于 25° 。
- 4 对重覆冰线路的保护角可适当加大。

由第 2 款可知,答案为 A、B。

(2) 杆塔接地体的引出线以下哪些要求不正确?(2012)

- (A) 接地体引出线的截面不应小于 50mm^2 并应进行热稳定验算
- (B) 接地引出线表面应进行有效的防腐处理
- (C) 接地体引出线的截面不应小于 25mm^2 并应进行热稳定验算
- (D) 接地体引出线的表面可不进行有效的防腐处理

► 答案: [C、D]

► 依据:《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 7.0.19 条。

7.0.19 钢筋混凝土杆的铁横担、地线支架、爬梯等附件与接地引下线应有可靠的电气连接,并应符合下列规定:

- 1 利用钢筋兼作接地引下线的钢筋混凝土杆,其钢筋与接地螺母、铁横担或地线支架应有可靠的电气连接。
- 2 外敷的接地引下线可采用镀锌钢绞线,其截面应按热稳定要求选取,且不应小于 25mm^2 。
- 3 接地体引出线的截面不应小于 50mm^2 并应进行热稳定验算。引出线表面进行有效的防腐处理。

由 2、3 款可知,答案为 C、D。

(3) 悬垂型杆塔的安装情况,需要考虑下列哪些荷载组合?(2012)

- (A) 有一根地线进行挂线作业,另一根地线尚未架设或已经架设,部分导线已经架设
- (B) 提升导线、地线及其附件时的作用荷载
- (C) 导线及地锚线作业时的作用荷载
- (D) 有一根地线进行挂线作业,另一根地线尚未架设或已经架设,全部导线已经架设

答案：[B、C]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 10.1.13 条第 1 款。

1 悬垂型杆塔的安装负载应符合下列规定：

1) 提升导、地线及其附件的作用荷载。包括提升导、地线、绝缘子和金具等重量（一般按 2.0 倍计算）、安装工人和工具的附加荷载，应考虑动力系数 1.1，附加荷载标准值宜符合表 10.1.13 的规定。

表 10.1.13 附加荷载标准值 kN

电压(kV)	导线		地线	
	悬垂型杆塔	耐张型杆塔	悬垂型杆塔	耐张型杆塔
110	1.5	2.0	1.0	1.5
220 ~ 330	3.5	4.5	2.0	2.0
500 ~ 750	4.0	6.0	2.0	2.0

2) 导线及地线锚线作业时的作用荷载。锚线对地教教不宜大于 20°，正在锚线相的张力应考虑动力系数 1.1。挂线点垂直荷载取锚线张力的垂直分量和导、地线重力和附加荷载之和，纵向不平衡张力分别取导、地线张力和锚线张力纵向分量之差。

(4) 对于中冰区单回路悬垂型杆塔，断线情况按断线、-5℃、有冰、无风荷载计算。断线荷载组合中下列哪种说法是正确的？(2012)

- (A) 中冰区单导线断任意一相导线（分裂导线任意一相导线有纵向不平衡张力），地线未断
- (B) 中冰区同一档内，单导线断任意两相导线（分裂导线任意两相导线有纵向不平衡张力），地线未断
- (C) 断任意一根地线，导线未断
- (D) 同一档内，断任意一根地线，单导线断任意一相导线（分裂导线任意一相导线有纵向不平衡张力）

答案：[A、C]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 10.1.5 条第 1 款。

10.1.5 悬垂型杆塔（不含大跨越悬垂型杆塔）的断线情况，应按 -5℃、有冰、无风的气象条件，计算下列荷载组合：

1 对单回路杆塔，单导线断任意一相导线（分裂导线任意一相导线有纵向不平衡张力），地线未断；断任意一根地线，导线未断。

2 对双回路杆塔，同一档内，单导线断任意两相导线（分裂导线任意两相导线有纵向不平衡张力）；同一档内，断一根地线，单导线断任意一相导线（分裂导线任意一相导线有纵向不平衡张力）。

3 对多回路杆塔，同一档内，单导线断任意三相导线（分裂导线任意三相导线有纵向不平衡张力）；同一档内，断一根地线，单导线断任意两相导线（分裂导线任意两相导线有纵向不平衡张力）。

(5) 某架空送电线路，地线型号为 GJ-80，选用悬垂线夹时，下列说法哪些是正确的？(2012)

- (A) 最大荷载时安全系数应大于 2.5
- (B) 最大荷载时安全系数应大于 2.7
- (C) 线夹握力不应小于地线计算拉断力的 14%
- (D) 线夹握力不应小于地线计算拉断力的 24%

答案：[A、C]

依据：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 6.0.3 条，可知 A 答案对。根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）表 5-2-2，可知 C 答案对。

6.0.3 金具强度的安全系数应符合下列规定：

- 1 最大使用荷载情况不应小于 2.5。
- 2 断线、断联、验算情况不应小于 1.5。

表 5-2-2 悬垂线夹握力

绞线类别	铝钢截面比	导线、地线计算拉断力的百分数(%)
钢芯铝绞线、钢芯铝合金线	≥ 1.7	14
	4.0 ~ 4.5	18
	5.0 ~ 6.5	20
	7.0 ~ 8.0	22
	11.0 ~ 20.0	24
铜绞线		28
钢绞线、铝包钢绞线		14
铝绞线、铝合金绞线		24

(6) 在海拔高度 1000m 以下地区，带电作业时，带电部分对杆塔与接地部分的间隙不应小于以下哪些数值？(2012)

- (A) 110kV 线路校验间隙 1.00m
- (B) 220kV 线路校验间隙 1.80m
- (C) 110kV 线路校验间隙 0.7m
- (D) 220kV 线路校验间隙 1.9m

答案：[A、B]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 7.0.10 条。

7.0.10 在海拔高度 1000m 以下地区，带电作业时，带电部分对杆塔接地部分的校验间隙应符合表 7.0.10 的规定。

表 7.0.10 带电作业，带点部分对杆塔与接地部分的校验间隙

标称电压 (kV)	110	220	330	500	750
校验间隙 (m)	1.00	1.80	2.20	3.20	4.00/4.30(边相 I 串/中相 V 串)

注：1. 对操作人员需要停留工作的部位，还应考虑人体活动范围 0.5m。
2. 检验带电作业的间隙时，应采用下列计算条件：气温 +15℃，风速 10m/s。

(7) 为限制 500kV 线路的潜供电流，可采用下列哪些措施？(2011)

- (A) 高压并联电抗器中性点接小电抗
- (B) 快速单相接地开关
- (C) 装设良导体架空地线
- (D) 线路断路器装设合闸电阻

答案：[A、B、C]

依据：《电力系统设计技术规程》(DL/T 5429—2009) 第 9.2.3 条，即限制潜供电流的措施可选用高压并联电抗器中性点接小电抗、快速单相接地开关或良导体架空地线作为限制潜供电流的措施，应根据系统特点结合其他方面的需要进行论证。

分析：1) 在超高压系统中，为了提高供电的可靠性，多采用快速单相自动重合闸。当系统的一相因单相接地故障而被切除后，由于相间互感和相间电容的耦合作用，被切除的故障相在故障点仍流过一定数值的接地电流，这就是潜供电流。根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 14.4.1 条：应根据电力系统的情况按加速潜供电弧熄灭或抑制谐振过电压的要求选择小电抗器，可知高压并联电抗器中性点接小电抗器可抑制潜供电流。

2) 随着电力建设的发展，电网间联络的加强，工频过电压的降低，使得 100km 左右的线路可以不装设并联电抗器。这些情况下，不能通过并联电抗器及中性点小电抗限制潜供电流，此时可以考虑采用快速接地开关 (High Speed Ground Switch, HSGS) 来加速潜供电弧的熄灭。这种方法是在故障相线路两侧断路器跳开后，先快速合上故障线路两侧的 HSGS，将接地点的潜供电流转移到电阻很小的两侧闭合的接地开关上，以促使接地点潜供电弧熄灭，然后打开 HSGS，利用开关的灭弧能力将其电弧强迫熄灭，最后再重合故障相线路。

3) 带有架空地线的送电线路，在导线上流过的零序电流，将经过上面架空地线及地面返回，良导体的电阻较小，因而能流过较大的零序电流，因此可以抑制潜供电流。

4) 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 4.2.1 条第 c) 款，线路断路器合闸电阻的作用是限制线路合闸和重合闸过电压。

(8) 下列哪些线路路径选择原则是正确的？(2011)

- (A) 选择送电线路的路径，应避免严重影响安全运行的地区
- (B) 选择送电线路的路径，宜避开严重影响安全运行的地区

- (C) 选择送电线路的路径，应避开临近设施如电台、机场等
- (D) 选择送电线路的路径，应考虑与邻近设施如电台、机场等的相互影响

答案：[A、D]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 3.0.2 条、第 3.0.3 条、第 3.0.4 条。

3.0.2 路径选择应避开军事设施、大型工矿企业一级重要设施等，符合城镇规划。

3.0.3 枯井选择宜避开不良地质地带和才动影响区，当无法避让时，应采取必要的措施；宜避开重冰区、易舞动区及影响安全运行的其他地区；宜避开原始森林、自然保护和风景名胜。

3.0.4 路径选择应考虑与电台、机场、弱电线路等邻近设施的相互影响。

分析：输电线路路径选择原则是常考题型，应注意区别“宜”和“应”。对于严重影响安全运行的地区，选择“应”避开而不是“宜”避开。

(9) 与横担连接的第一个金具应符合下列哪些要求？(2011)

- (A) 转动灵活且受力合理
- (B) 其强度应高于串内其他金具
- (C) 满足受力要求即可
- (D) 应与绝缘子的受力强度相等

答案：[A、B]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 6.0.7 条，即与横担连接的第一个间距应转动灵活且受力合理，其强度应高于串内其他金具强度。

(10) 绝缘子机械强度的安全系数下列说法哪些是正确的？(2011)

- (A) 在断线时绝缘子机械强度的安全系数不应小于 1.5
- (B) 在断线时绝缘子机械强度的安全系数不应小于 1.8
- (C) 在断联时绝缘子机械强度的安全系数不应小于 1.5
- (D) 在断联时绝缘子机械强度的安全系数不应小于 1.8

答案：[B、C]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 6.0.1 条。

6.0.1 绝缘子机械强度的安全系数，应符合表 6.0.1 的规定。双联及多联绝缘子串应验算断一联后的机械强度，其荷载及安全系数按断联情况考虑。

表 6.0.1 绝缘子机械强度的安全系数

情况	最大使用荷载		常年荷载	验算	断线	断联
	盘型绝缘子	棒型绝缘子				
安全系数	2.7	3.0	4.0	1.5	1.8	1.5

绝缘子机械强度的安全系数 K_1 应按下列公式计算：

$$K_1 = \frac{T_R}{T} \quad (6.0.1)$$

式中 T_R ——绝缘子的额定机械破坏负荷（kN）；

T ——分别取绝缘子承受的最大使用荷载、断线、断联、验算荷载或常年荷载（kN）。

注：常年荷载是指年平均气温条件下绝缘子所承受的荷载。验算荷载是验算条件下绝缘子所承受的荷载。断线的气象条件时无风、有冰、 -5°C ，断联的气象条件时无风、无冰、 -5°C 。设计悬垂串时导、地线张力可按本规范 10.1 节的规定取值。

(11) 在轻冰区设计一条 220kV 架空线路，采用 2 分裂导线，对于耐张段长度，下列哪些要求是正确的？（2011）

- (A) 不大于 10km
- (B) 不宜大于 10km
- (C) 不宜大于 5km
- (D) 在运行条件较差的地段，耐张段长度应适当缩短

答案：[B、D]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 3.0.7 条。

3.0.7 轻、中、重冰区的耐张段长度分别不宜大于 10km、5km 和 3km，且单导线线路不宜大于 5km。当耐张段长度较长时应采取防串倒措施。在高差或档距相差悬殊的山区或重冰区等运行条件较差的地段，耐张段长度应适当缩短。输电线路与主干铁路、高速公路交叉，应采用独立耐张段。

分析：输电线路耐张段长度是常考题型。

(12) 大型发电厂和枢纽变电站的进出线，两回或多回路相邻线路应统一规划，下列哪些表述是不正确的？（2011）

- (A) 应按紧凑型线路架设
- (B) 宜按紧凑型线路架设
- (C) 在走廊拥挤地段应采用同杆塔架设
- (D) 在走廊拥挤地段宜采用同杆塔架设

答案：[A、B、C]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 3.0.6 条，即大型发电厂和枢纽变电所的进出线、两回或多回相邻线路应统一规划，在走廊拥挤地段宜采用同杆塔假设。

分析：对是否按紧凑型线路架设，条文并没有具体规定，故 A、B 的表述均不正确。

(13) 电线的平均运行张力和防振措施，下面哪些是不正确的？（ T_p 为电线的拉断力）（2011）

- (A) 档距不超过 500m 的开阔地区、不采取防振措施时，镀锌钢绞线的平均运行张力上限为 $12\% T_p$
- (B) 档距不超过 500m 的开阔地区、不采取防振措施时，钢芯铝绞线的平均运行张力上限为 $18\% T_p$
- (C) 档距不超过 500m 的非开阔地区、不采取防振措施时，镀锌钢绞线的平均运行张力上限为 $22\% T_p$
- (D) 钢芯铝绞线的平均运行张力为 $25\% T_p$ 时，均需用防振锤（阻尼线）或另加护线条防振

答案：[B、C]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）5.0.13 条的第 1 款。

5.0.13 导、地线防振措施应符合下列规定：

1 铝钢截面比不小于 4.29 的钢芯铝绞线或镀锌钢绞线，其导、地线平均运行张力的上限和相应的防振措施，应符合表 5.0.13 的规定。当有多年运行经验时可不受表 5.0.13 的限制。

表 5.0.13 导、地线平均运行张力的上限和相应的防振措施

情 况	平均运行张力的上限(拉断力百分数)(%)		防振措施
	钢芯铝绞线	镀锌铝绞线	
档距不超过 500m 的开阔地区	16	12	不需要
档距不超过 500m 的非开阔地区	18	18	不需要
档距不超过 120m	18	18	不需要
不论档距大小	22	—	护线条
不论档距大小	25	25	防振锤(阻尼线)或另加护线条

注：四分裂及以上导线采用阻尼间隔棒时，档距在 500m 及以下可不再采用其他防振措施，阻尼间隔棒不宜不等距、不对称布置，导线最大次档距不宜大于 70m。端次档距宜控制在 28m ~ 35m。

2 对本规范第 5.0.13 条第 1 款以外的导、地线，其允许平均运行张力的上限及相应的防振措施，应根据当地的运行经验确定，也可采用制造厂提供的技术参数，必要时通过试验确定。

3 大跨越导、地线的防振措施，宜采用防振锤、阻尼线或阻尼线加防振锤方案，同时分裂导线宜采用阻尼间隔棒，具体设计方案宜参考运行经验或通过试验确定。

分析：本题要求选择不正确的答案，需要细心地与规范对照。

(14) 架空送电线路中，电线应力随气象情况而变化，若在某种气象情况，指定电线应力不得超过某一数值，则该情况就成为设计中的一个控制条件。下面的表述哪些是正确的？(2011)

- (A) 最大使用应力，相应的气象条件为最大覆冰
- (B) 最大使用应力，相应的气象条件为平均气温
- (C) 平均运行应力，相应的气象条件为最低气温

(D) 平均运行应力，相应的气象条件为平均气温

▶ 答案：[A、D]

▶ 依据：《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）第 186 页临界档距及其选定：电线上的应力随气象情况而变化，若在某种气象情况，指定电线应力不得超过某一数值，则该情况就成为设计中的一个控制条件。例如最大使用应力和平均运行应力，其相应的气象条件为最大荷载（风、冰），最低气温和平均气温。

▶ 分析：本题会引起歧义，但两个“和”字的前后内容应该是对应的。

(15) 某采用双地线的单回路架空送电线路，导线绝缘子串为 5m，地线的支架高度为 2m，不考虑地线串长和导地线弧垂差时，下面的两地线间水平距离哪些满足现行规定要求？（2011）

(A) 30m (B) 32m (C) 34m (D) 36m

▶ 答案：[A、B、C]

▶ 依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 7.0.15 条规定：杆塔上两根地线之间的距离，不应超过地线与导线间垂直距离的 5 倍。本题中，不考虑地线串长和导地线弧垂差时，两根地线之间的距离 $L \leq 5 \times (5 + 2) \text{m} = 35 \text{m}$ 。

▶ 分析：本题需要有一定的空间想象力。

(16) 对于 500kV 线路上下层相邻导线间或地线与相邻导线间的水平偏移，如无运行经验，下面的哪些设计 requirements 是不正确的？（2011）

(A) 10mm 冰厚、不宜小于 1.75m
(B) 10mm 冰厚、不应小于 1.75m
(C) 无冰区、不宜小于 1.5m
(D) 无冰区、不应小于 1.5m

▶ 答案：[B、C、D]

▶ 依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）表 8.0.2 及其注释：如无运行经验，覆冰地区上下层相邻导线间或地线与相邻导线间的最小水平偏移，应符合表 8.0.2 的规定。查表 8.0.2 可得，对 500kV 线路上下层相邻导线间或地线与相邻导线间的水平偏移在设计冰厚 10mm 的情况下不宜小于 1.75m。无冰区可不考虑水平偏移。

表 8.0.2 上下层相邻导线间或地线与相邻导线间的最小水平偏移 m

标称电压/kV	110	220	330	500	750
设计冰厚 10mm	0.5	1.0	1.5	1.75	2.0

注：无冰区可不考虑水平偏移。设计冰厚 5mm 地区，上下层相邻导线间或地线与相邻到相间的水平偏移，可根据运行经验参照表 8.0.2 适当减少。

▶ 分析：对无冰区，可不考虑水平偏移，故 C、D 应选为答案。

(17) 导线、地线架设后的塑性伸长应按制造厂提供的数据或通过试验确定。如无资料，钢芯铝绞线可采用的数值哪些是正确的？（2011）

- (A) 铝钢截面比 7.71 ~ 7.91 时, 塑性伸长 $4 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-4}$
- (B) 铝钢截面比 5.05 ~ 6.16 时, 塑性伸长 $4 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-4}$
- (C) 铝钢截面比 5.05 ~ 6.16 时, 塑性伸长 $3 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-4}$
- (D) 钢钢截面比 4.29 ~ 4.38 时, 塑性伸长 $3 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-4}$

答案: [A、C]

依据: 《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 5.0.15 条。

5.0.15 导、地线架设后的塑性伸长, 应按制造厂提供的数据或通过试验确定, 塑性伸长对弧垂的影响宜采用降温法补偿。当无资料时, 镀锌钢绞线的塑性伸长可采用 1×10^{-4} , 并降低温度 10℃ 补偿; 钢芯铝绞线的塑性伸长及降温可按表 5.0.15 规定确定。

表 5.0.15 钢芯铝绞线的塑性伸长及降温值

铝钢截面比	塑性伸长	降温法(℃)
4.29 ~ 4.38	3×10^{-4}	15
5.05 ~ 6.16	$3 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-4}$	15 ~ 20
7.71 ~ 7.91	$4 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-4}$	20 ~ 25
11.34 ~ 14.46	$5 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^{-4}$	25(或根据实验数据确定)

注: 对铝包钢绞线、大铝钢截面比的钢芯铝绞线或钢芯铝合金绞线应由制造厂家提供塑性伸长值或降温值。

分析: 铝钢截面比与送电线路的塑性伸长有密切关系。

(18) 高压送电线路设计中, 下面哪些要求是正确的? (2011)

- (A) 风速 $V \leq 20\text{m/s}$, 计算 500kV 杆塔荷载时, 风荷载调整系数取 1.00
- (B) 风速 $20 \leq V < 27\text{m/s}$, 计算 500kV 杆塔荷载时, 风荷载调整系数取 1.10
- (C) 风速 $27 \leq V < 31.5\text{m/s}$, 计算 500kV 杆塔荷载时, 风荷载调整系数取 1.20
- (D) 风速 $V \geq 31.5\text{m/s}$, 计算 500kV 杆塔荷载时, 风荷载调整系数取 1.30

答案: [B、C、D]

依据: 《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 表 10.1.18-1。

表 10.1.18-1 风压不均匀系数 α 和导地线风载调整系数 β_e

风速 $V(\text{m/s})$		≤ 20	$20 \leq V \leq 27$	$27 \leq V \leq 31.5$	≥ 31.5
α	计算杆塔荷载	1.00	0.85	0.75	0.70
	设计杆塔(风偏计算用)	1.00	0.75	0.61	0.61
β_e	计算 500、750kV 杆塔荷载	1.00	1.10	1.20	1.30

注: 对跳线计算, α 宜取 1.0。

分析: 答这种类型的题目需要仔细, 题目本身没有难度。

(19) 高压送电线路设计中, 对于安装工况的附加荷载, 下列哪些是正确的? (2011)

- (A) 220kV、直线杆塔、地线的附加荷载: 1500N
- (B) 220kV、直线杆塔、导线的附加荷载: 2000N
- (C) 330kV、耐张转角塔、导线的附加荷载: 4500N

(D) 330kV、耐张转角塔、地线的附加荷载：2000N

答案：[C、D]

依据：《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）表 6-2-8，或根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）表 10.1.13。

表 6-2-8 附加荷载 G_a 的数值					N
分类 荷载电压等级/kV	导线		地线		
	直线杆塔	耐张转角杆塔	直线杆塔	耐张转角杆塔	
110	1500	2000	1000	1500	
220	3500	4500	2000	2000	
330	3500	4500	2000	2000	
500	4000	6000	2000	2000	

表 10.1.13 附加荷载标准值					kN
电压/kV	导线		地线		
	悬垂型杆塔	耐张型杆塔	悬垂型杆塔	耐张型杆塔	
110	1.5	2.0	1.0	1.5	
220 ~ 330	3.5	4.5	2.0	2.0	
500 ~ 750	4.0	6.0	2.0	2.0	

(20) 建设 500kV 紧凑型架空送电线路的目的主要有 ()。(2008)

- (A) 减小线路自然波阻抗 (B) 增大线路自然输送容量
(C) 减小线路本体投资 (D) 降低电磁环境影响

答案：[A、B、D]

依据：《220kV ~ 500kV 紧凑型架空送电线路设计技术规定》（DL/T 5217—2005）前言及其条文说明第 3.0.2 条可知，紧凑型架空送电线路较常规架空送电线路可较大幅度提高自然输送功率，有效压缩送电线路走廊，提高单位线路走廊送电能力，在电网发展和建设中有明显的经济效益和社会效益，并能起到降低地面电场强度的作用。

分析：紧凑型架空送电线路的目的还有一个是能有效压缩送电线路走廊。

(21) 中性点直接接地系统的架空送电线路，对音频双线电话的干扰影响应符合下列哪些规定？(2008)

- (A) 应按送电线路正常运行状态计算
(B) 应按送电线路单相接地短路故障状态计算
(C) 不应计算干扰影响
(D) 应考虑送电线路基波、谐波电流和电压的感应影响

答案：[A、D]

依据：《输电线路对电信线路危险和干扰影响防护设计规程》（DL/T 5033—2006）第 6.1.1 条。

6.1.1 中性点直接接地系统的输电线路的计算应符合下列规定：

- 1 双音频双线电话的干扰影响应按输电线路正常运行状态计算；应考虑输电线路基波和谐波电流、电压的感应影响。
- 2 对线—地电报回路的干扰影响应按输电线路正常运行状态计算；应考虑输电线路基波电流、电压的感应影响。
- 3 对受多条输电线路干扰影响的电信线路，应按平方和的平方根计算多条输电线路的合成干扰影响。

(22) 架空送电线路用降温法补偿导线、地线初伸长时，降温温度与下列哪些因素无关？(2008)

- (A) 代表档距 (B) 观测档长度
(C) 电线的铝钢比 (D) 被跨越物

▶ 答案：[A、B、D]

▶ 依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 5.0.15 条及表 5.0.15。

▶ 分析：根据《110 ~ 500kV 架空送电线路设计规程》(DL/T 5092—1999) 等 7.0.6 条及表 7.0.6-2 也可得到答案。

(23) 架空输电线路在跨越下列哪些电压等级的电力线时，导、地线不得有接头？(2008)

- (A) 35kV (B) 66kV (C) 110kV (D) 220kV

▶ 答案：[C、D]

▶ 依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 表 13.0.11。

▶ 分析：根据《110 ~ 500kV 架空送电线路设计规程》(DL/T 5092—1999) 表 16.0.10 也可得到答案。

(24) 送电线路的导体与地面、建筑物、树木、铁路、道路、架空线等的距离计算中，下列哪些说法是正确的？(2008)

- (A) 应考虑由于电流、太阳辐射等引起的弧垂增大
(B) 可不考虑由于电流、太阳辐射等引起的弧垂增大
(C) 计及导线架线后塑性伸长的影响
(D) 计及设计施工的误差

▶ 答案：[B、C、D]

▶ 依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 13.0.1 条。

13.0.1 导线对地面、建筑物、树木、铁路、道路、河流、管道、索道及各种架空线路的距离，应根据导线运行温度 +40℃ (若导线按允许温度 +80℃ 设计时，导线运行温度取 50℃) 情况或覆冰无风情况求得的最大弧垂计算垂直距离，根据最大风情况或覆冰情况求得的最大风偏校验。

注：1 计算上述距离，可不考虑由于电流、太阳辐射等引起的弧垂增大，单应计及导线架线后塑性伸长的影响和设计、施工的误差。重覆冰区的线路，还应计算导线不均匀覆冰和验算覆冰情况下的弧垂增大。

2 大跨越的导线弧垂应按导线实际能够达到的最高温度计算。

3 输电线路与标准轨距铁路、高速公路及一级公路交叉时，如交叉档距超过 200m，最大弧垂应按导线允许温度计算，导线的允许温度按不同要求取 $+70^{\circ}\text{C}$ 或 $+80^{\circ}\text{C}$ 计算。

分析：根据《110 ~ 500kV 架空送电线路设计技术规程》（DL/T 5092—1999）第 16.0.1 条也可以得出答案。

(25) 采用分裂导线的架空送电线路，确定间隔棒安装距离考虑的主要因素有（ ）。
(2008)

- (A) 导线的最大使用张力
- (B) 电磁吸引力的大小
- (C) 次档距振荡
- (D) 防振要求

答案：[A、C、D]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）表 5.0.13（见本章多项选择题的第（13）题）及《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）第 317 页有关叙述。

分析：根据《110 ~ 500kV 架空送电线路设计技术规程》（DL/T 5092—1999）表 7.0.5 也可得到答案。

(26) 架空送电线铁塔遭受雷电击后跳闸，雷电流如下分流，哪些说法不正确？(2008)

- (A) 全部沿地线身前和身后分为两路前进
- (B) 一部分沿塔身经接地电阻入地，其余沿地线分流
- (C) 约三等分，分别沿地线、导线、塔身泻出
- (D) 约三等分，分别沿地线、导线、对地电容泄入大地

答案：[A、C、D]

依据：《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）第 122 页相关叙述。

(27) 下列关于架空线路地线的表述哪些项是正确的？(2013)

- (A) 500kV 及以上线路应架设双地线
- (B) 220kV 线路不可架设单地线
- (C) 重覆冰线路地线保护角可适当加大
- (D) 雷电活动轻微地区的 110kV 线路可不架设地线

答案：[A、C、D]

依据：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 7.0.13 条、7.0.14 条。

7.0.13 输电线路的防雷设计,应根据线路电压、负荷性质和系统运行方式,结合当地已有线路的运行经验,地区雷电活动的强弱、地形地貌及土壤电阻率高低等情况,在计算耐雷水平后,通过技术经济比较,采用合理的防雷方式,应符合下列规定:

1 110kV 输电线路宜全线架设地线,在年平均雷暴日数不超过 15d 或运行经验证明雷电活动轻微的地区,可不架设地线。无地线的输电线路,宜在变电站或发电厂的进线段架设 1km~2km 地线。

2 220kV~330kV 输电线路应沿全线架设地线,年平均雷暴日数不超过 15d 的地区或运行经验证明雷电活动轻微的地区,可架设单地线,山区宜架设双地线。

7.0.14 杆塔上地线对边导线的保护角,应符合下列要求:

1 对于单回路,330kV 及以下线路的保护角不宜大于 15° ,500kV~750kV 线路的保护角不宜大于 10° 。

2 对于同塔双回或多回路,110kV 线路的保护角不宜大于 10° ,220kV 及以上线路的保护角均不宜大于 0° 。

3 单地线线路不宜大于 25° 。

4 对重覆冰线路的保护角可适当加大。

(28) 对于 110kV~750kV 架空输电线路的导、地线选择,下列哪些表述是不正确的?
(2013)

(A) 导线的设计安全系数不应小于 2.5

(B) 地线的设计安全系数不应小于 2.5

(C) 地线的设计安全系数不应小于导线的安全系数

(D) 稀有风或稀有冰气象条件下,最大张力不应超过其导、地线拉断力的 70%

► 答案: [A、B、D]

► 依据:《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010)第 5.0.7 条、5.0.9 条。

5.0.7 导、地线在弧垂最低点的设计安全系数不应小于 2.5,悬挂点的设计安全系数不应小于 2.25。地线设计安全系数不应小于导线的设计安全系数。

5.0.9 导、地线在稀有风速或稀有覆冰气象条件时,弧垂最低点的最大张力不应超过其导、地线拉断力的 70%。悬挂点的最大张力,不应超过导、地线拉断力的 77%。

A、B、D 答案并没有指明相应指标是在导、地线的弧垂最低点和还是在悬挂点,因而不准确的。

3. 案例题

题 1: 某单回路 500kV 架空送电线路,设计覆冰厚度为 10mm。某直线塔的最大设计档距为 800m,使用的悬垂绝缘子串(1 串)长度为 5m,地线串长度为 0.5m。(假定直线塔有相同的导线、地线布置)(提示: $K = \frac{P}{8T}$) (2012)

(1) 地线与相邻导线间的最小水平偏移宜为下列哪项值？

- (A) 0.5m (B) 1.75m (C) 1.0m (D) 1.5m

答案：[B]

解答过程：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 表 8.0.2 可知对 500kV 输电线路，在覆冰厚度为 10mm 的情况下，地线与相邻导线间的最小水平偏移距离宜为 1.75m。

表 8.0.2 上下层相邻导线间或地线与相邻导线间的最小水平偏移 m

标称电压(kV)	110	220	330	500	750
设计冰厚 10(mm)	0.5	1.0	1.5	1.75	2.0

注：无冰区可不考虑水平偏移。设计冰厚 5mm 地区，上下层相邻导线间或地线与相邻到相间的水平偏移，可根据运行经验参照表 8.0.2 适当减少。

(2) 若线路按三角形布置考虑，导线挂点间的水平投影距离为 8m，垂直投影距离为 5m，其等效水平线间距离为下列哪项值？

- (A) 10.0m (B) 10.41m (C) 9.43m (D) 11.41m

答案：[B]

解答过程：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 式 (8.0.1-2) 知：

$$D_x = \sqrt{D_p^2 + (4/3 D_z)^2} = \sqrt{8^2 + (4/3 \times 5)^2} \text{m} \approx 10.41 \text{m}$$

式中， D_x 为导线三角形排列的等效水平线间距离； D_p 为导线水平投影距离； D_z 为导线垂直投影距离。

(3) 若最大弧垂 K 值为 8×10^{-5} ，相导线按水平排列，则相导线最小水平线间距离为下列哪项值？

- (A) 12.63m (B) 9.27m (C) 11.20m (D) 13.23m

答案：[C]

解答过程：本题根据题意，最大设计档距为 800m，根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 式 (8.0.1-1) 有：

$$\begin{aligned} D &= k_i L_K + \frac{U}{110} + 0.65 \sqrt{f_c} = 0.4 L_K + \frac{U}{110} + 0.65 \sqrt{K l^2} \\ &= \left(0.4 \times 5 + \frac{500}{110} + 0.65 \times \sqrt{8 \times 10^{-5} \times 800} \right) \text{m} \approx 11.20 \text{m} \end{aligned}$$

分析：本题应知道 $f_c = K l^2$ ，否则不易作答。

(4) 若导线按水平布置，线间距离为 12m，导线最大弧垂时 K 值为 8×10^{-5} ，请问最大档距可用到多少米？(提示： $K = \frac{P}{8T}$)

- (A) 825m (B) 1720m (C) 938m (D) 1282m

答案: [C]

解答过程: 根据《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 式 (8.0.1-1) 有:

$$\begin{aligned} D_x &= k_i L_K + \frac{U}{110} + 0.65 \sqrt{f_c} = 0.4 L_K + \frac{U}{110} + 0.65 \sqrt{Kl^2} \\ &= 0.4 \times 5 + \frac{500}{110} + 0.65 \times \sqrt{8 \times 10^{-5}} \times l = 12 \\ \Rightarrow l &= 938\text{m} \end{aligned}$$

(5) 若导线为水平排列, 并应用于无冰区时, 从张力曲线知道气温为 15°C , 无风、无冰时档距中央导地线的弧垂差为 2m , 计算地线串悬挂点应比导线串挂点至少高多少? (不考虑水平位移)

- (A) 3.60m (B) 4.10m (C) 6.10m (D) 2.10m

答案: [B]

解答过程: 根据《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 式 (7.0.5): 一般档距中央, 导线与地线间的距离, 应按下列式校验:

$$S \geq 0.012L + 1\text{m} = (0.012 \times 800 + 1)\text{m} = 10.6\text{m}$$

设地线串挂点比导线串挂点至少高出 h , 依题意有:

$$S = h + 5\text{m} + 2\text{m} - 0.5\text{m} = 10.6\text{m} \Rightarrow h = 4.1\text{m}$$

分析: 注意本题不考虑水平偏移, 难度比 2006 年的考题有所降低, 示意图见图 14-1。

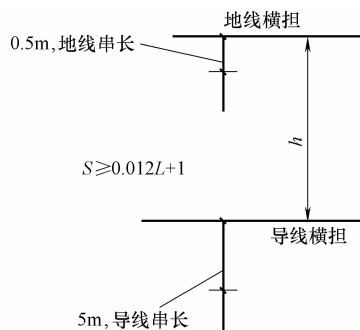


图 14-1

题 2: 某 500kV 送电线路, 导线采用四分裂导线, 导线的直径为 26.82mm , 截面为 425.24mm^2 , 单位长度质量为 1.349kg/m , 设计最大覆冰厚度为 10mm , 同时风速为 10m/s , 导线最大使用应力为 92.85N/mm^2 , 不计绝缘子的荷载 (提示 $g = 9.8$, 冰的密度为 0.9g/cm^3)。(2012)

(1) 线路某直线塔的水平档距为 400m , 大风 (风速为 30m/s) 时, 电线的水平单位荷载为 12N/m , 风压高度系数为 1.05 , 计算该塔荷载时 90° 大风的每相水平荷载为下列何值?

- (A) 20160N (B) 24192N (C) 23040N (D) 6048N

答案：[B]

解答过程：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）式（3-1-14）有：

$$W_X = g_H l_H \beta_C \sin^2 \theta = 1.05 \times 12 \times 400 \times 1.2 \text{ N} = 6048 \text{ N}$$

由于导线采用四分裂，故每相水平荷载为

$$6048 \times 4 \text{ N} = 24191 \text{ N}$$

分析：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）式（10.1.18-1）导线及地线的水平风荷载标准值与风压高度变化系数成正比。根据该表，对于500kV和750kV杆塔荷载，尚需考虑导线和地线的风荷载调整系数 β_C 。

(2) 该塔垂直档距为650m，覆冰时每相垂直荷载为下列何值？

- (A) 60892N (B) 14573N (C) 23040N (D) 46048N

答案：[A]

解答过程：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）表3.2-3：线路覆冰时自重加冰重力荷载为

$$\begin{aligned} g_1 + g_2 &= 9.8p_1 + 9.8 \times 0.9\pi\delta(\delta + d) \times 10^{-3} \\ &= 9.8 \times 1.349 \text{ N/m} + 9.8 \times 0.9 \times \pi \times 10 \times (10 + 26.82) \times 10^{-3} \text{ N/m} \\ &= 23.42 \text{ N/m} \end{aligned}$$

结合垂直档距的定义，每相垂直荷载为

$$23.42 \times 650 \times 4 \text{ N} = 60892 \text{ N}$$

(3) 请计算用于山区的直线塔导线断线时纵向不平衡张力为下列哪项？

- (A) 31587N (B) 24192N (C) 39484N (D) 9871N

答案：[C]

解答过程：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）表10.1.7，对山区直线塔、双分裂以上导线的导、地线断线的不平衡张力取25%，由题目已知导线最大使用应力为92.85N/mm²，可得导线的拉断力为

$$4 \times 92.85 \times 425.24 \text{ N} = 157934 \text{ N}$$

从而得到导线断线的不平衡张力为

$$157934 \text{ N} \times 25\% \approx 39484 \text{ N}$$

表 10.1.7 10mm 及以下冰区导、地线断线张力（或分裂导线纵向不平衡张力） %

地形	地线	悬垂塔导线			耐张塔导线	
		单导线	双分裂导线	双分裂以上导线	单导线	双分裂及以上导线
平丘	100	50	25	20	100	70
山地	100	50	30	25	100	70

分析：输电线路的断线张力指的是输电线路断线后的残余张力。断线发生以后，断线档的张力为零，而剩余各档则由于直线杆塔的挠曲和悬垂绝缘子串的偏斜，导致导线松弛，因而张力减小，故断线张力又称残余张力。本题中，导线断线张力的百分数指的是对相导线而不是对单根子导线最大使用张力而言，第（4）、（5）题也一样。

(4) 请计算 0° 耐张塔断线时的断线张力为下列何值?

- (A) 110554N (B) 157934N (C) 39484N (D) 27638N

▶ 答案: [A]

▶ 解答过程: 根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 表 10.1.7, 对山区耐张塔、双分裂以上导线的导、地线断线的不平衡张力取 70%, 由题目已知导线最大使用应力为 92.85N/mm^2 , 可得导线的拉断力为

$$4 \times 92.85 \times 425.24\text{N} = 157934\text{N}$$

从而得不平衡张力为

$$157934\text{N} \times 70\% \approx 110554\text{N}$$

(5) 请计算直线塔在不均匀覆冰情况下导线不平衡张力?

- (A) 15793N (B) 110554N (C) 3948.4N (D) 27638N

▶ 答案: [A]

▶ 解答过程: 根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 表 10.1.8, 直线塔, 10mm 冰区不均匀覆冰情况的导线不平衡张力取 10%。

由题目已知导线最大使用应力为 92.85N/mm^2 , 可得导线的拉断力为

$$4 \times 92.85 \times 425.24\text{N} = 157934\text{N}$$

从而得到不均匀覆冰情况下导线的平衡张力为

$$157934\text{N} \times 10\% \approx 15793\text{N}$$

表 10.1.8 不均匀覆冰情况的导、地线不平衡张力

%

悬垂型杆塔		耐张型杆塔	
导线	地线	导线	地线
10	20	30	40

题 3: 某架空送电线路, 有一档的档距 $l = 1000\text{m}$, 悬点高差 $h = 150\text{m}$, 最高气温时导线最低点应力为 50N/mm^2 , 垂直比载 $\gamma = 25 \times 10^{-3}\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ 。(2012)

(1) 电线应力弧垂公式 $f_m = \frac{\gamma l^2}{8\sigma}$ 属于哪一类公式?

- (A) 经验公式 (B) 平抛物线公式 (C) 斜抛物线公式 (D) 悬链线公式

▶ 答案: [B]

(2) 用悬链线公式, 在最高气温时档内线长最接近下列哪项数值?

- (A) 1021.67m (B) 1021.52m (C) 1000m (D) 1011.55m

▶ 答案: [B]

▶ 解答过程: 根据《电力工程高压送电线路手册》(第二版) 表 3-3-1 公式有:

$$L = \sqrt{\frac{4\sigma_0^2}{\gamma^2} sh^2 \frac{\gamma l}{2\sigma_0} + h^2} = \sqrt{\frac{4 \times 50^2}{(2.5 \times 10^{-2})^2} sh^2 \frac{2.5 \times 10^{-2} \times 1000}{2 \times 50} + 150^2} \text{m} = 1021.52\text{m}$$

(3) 用斜抛物线计算最大弧垂为 ()。

- (A) 62.5m (B) 63.2m (C) 65.5m (D) 61.3m

答案: [B]

解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 表 3-3-1 公式有:

$$f_m = \frac{\gamma l^2}{8\sigma_0 \cos\beta} = \frac{2.5 \times 10^{-2} \times 1000^2}{8 \times 50 \times 0.9889} \text{m} = 63.2 \text{m}$$

$$\left(\tan\beta = \frac{h}{l} = \frac{150}{1000} = 0.15 \Rightarrow \cos\beta = 0.9889 \right)$$

(4) 用斜抛物线计算距一端 350m 的弧垂为 ()。

- (A) 56.9m (B) 58.7m (C) 57.5m (D) 55.6m

答案: [C]

解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 表 3-3-1 公式有:

$$f'_x = \frac{4x'}{l} \left(1 - \frac{x'}{l} \right) f_m = \frac{4 \times 350}{1000} \left(1 - \frac{350}{1000} \right) \times 63.2 \text{m} = 57.512 \text{m}$$

式中, f_m 为最大弧垂, 上题已求出。

(5) 请采用平抛物线计算 $L = 1000\text{m}$ 档内高塔侧导线最高气温时悬垂角是下列哪项数值?

- (A) 8.53° (B) 14° (C) 5.7° (D) 21.8°

答案: [D]

解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 表 3-3-1 公式有:

$$\theta_B = \arctan \left(\frac{\gamma l}{2\sigma_0} + \frac{h}{l} \right) = \arctan \left(\frac{2.5 \times 10^{-2} \times 1000}{2 \times 50} + \frac{150}{1000} \right) = 21.8^\circ$$

题 4: 500kV 单回架空送电线路, 4 分裂相导线, 导线分裂间距为 450mm, 三相导线水平排列, 间距 12m, 导线直径为 26.82mm。(2011)

(1) 欲用 4 分裂相导线, 以经济电流密度 $j = 0.90\text{A/mm}^2$ 、功率因数为 0.95, 输送有功功率为 1200MW, 算出 1 根铝子导线的截面积最接近下列哪项数值?

- (A) 702mm^2 (B) 385mm^2 (C) 405mm^2 (D) 365mm^2

答案: [C]

解答过程:

$$I_g = \frac{P}{\sqrt{3} U_N \cos\varphi} = \frac{1200}{\sqrt{3} \times 500 \times 0.95} \text{kA} = 1.459 \text{kA}$$

$$s = \frac{I_g}{j} = \frac{1459}{0.9} \text{mm}^2 = 1621 \text{mm}^2$$

采用 4 分裂导线, 则每根子导线的截面积为

$$\frac{s}{4} = \frac{1621}{4} \text{mm}^2 = 405 \text{mm}^2$$

(2) 请计算相导线间几何均距为下列哪项数值?

- (A) 12.0m (B) 15.1m (C) 13.6m (D) 14.5m

► 答案: [B]

► 解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)式(2-1-3)得

$$d_m = \sqrt[3]{d_{ab}d_{bc}d_{ca}} = \sqrt[3]{12 \times 12 \times 24} \text{m} = 15.1 \text{m}$$

(3) 线路的正序电抗为 $0.3 \Omega/\text{km}$, 正序电纳为 $4.5 \times 10^{-6} \text{S}/\text{km}$, 请计算线路的波阻抗 Z_c 最接近下列哪项数值?

- (A) 258.2 Ω (B) 66.7 Ω (C) 387.3 Ω (D) 377.8 Ω

► 答案: [A]

► 解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)式(2-1-41)得

$$Z_c = Z_n = \sqrt{\frac{X_1}{b_1}} = \sqrt{\frac{0.3}{4.5 \times 10^{-6}}} \Omega = 258.2 \Omega$$

(4) 线路的波阻抗 $Z_c = 250 \Omega$, 请计算线路的自然功率 P_λ 最接近下列哪项数值?

- (A) 1102.5MW (B) 970.8MW (C) 858.6MW (D) 1000.0MW

► 答案: [D]

► 解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)式(2-1-42)得

$$P_\lambda = P_n = \frac{U^2}{Z_n} = \frac{500^2}{250} \text{MW} = 1000 \text{MW}$$

(5) 导线的表面系数取 0.82, 计算导线的临界起始电晕电位梯度最接近下列哪项数值? (不计海拔高度的影响)

- (A) 3.13MV/m (B) 3.81MV/m (C) 2.94MV/m (D) 3.55MV/m

► 答案: [A]

► 解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)公式2-2-1和2-2-2得:

$$E_{m0} = 3.03 \text{m} \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{r}} \right) = 3.03 \times 0.82 \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{1.341}} \right) = 3.13 \text{MV/m}$$

题 5: 110kV 架空送电线路架设双地线, 采用具有代表性的酒杯塔, 塔的全高为 33m, 双地线对边相导线的保护角为 10° , 导线、地线高度差为 3.5m, 地线平均高度为 20m, 导线平均高度为 15m, 导线为 LGJ-500/35 (直径 $d = 30\text{mm}$) 钢芯铝绞线, 两边相间距 $d_{13} = 10.0\text{m}$, 中边相间距 $d_{12} = d_{23} = 5\text{m}$, 塔头空气间隙的 50% 放电电压 $U_{50\%}$ 为 800kV。(2011)

(1) 每相的平均电抗值 X_1 为下列哪项? (提示: 频率为 50Hz)

- (A) 0.380 Ω/km (B) 0.423 Ω/km (C) 0.394 Ω/km (D) 0.420 Ω/km

► 答案: [C]

► 解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)式(2-1-2)有

$$X_1 = 0.0029 f \lg \frac{d_m}{r_e}$$

式中

$$\begin{aligned}d_m &= \sqrt[3]{d_{12}d_{13}d_{23}} = \sqrt[3]{5 \times 10 \times 5} \text{ m} = 6.3 \text{ m} \\r_e &= 0.779r = 0.779 \times 0.015 \text{ m} = 0.011685 \text{ m} \\ \Rightarrow X_1 &= 0.0029 \times 50 \times \lg \frac{6.3}{0.011685} \Omega/\text{km} = 0.396 \Omega/\text{km}\end{aligned}$$

(2) 设相导线电抗 $X_1 = 0.4 \Omega/\text{km}$ ，电纳 $b_1 = 3.0 \times 10^{-6} (\Omega \cdot \text{km})^{-1}$ ，雷击导线时，其耐雷水平为下列哪项值？（保留两位小数）

- (A) 8.00kA (B) 8.77kA (C) 8.12kA (D) 9.75kA

答案：[B]

解答过程：解法 1：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）式(2-7-39)有

$$I_2 = \frac{4U_{50\%}}{Z} = \frac{4U_{50\%}}{\sqrt{X_1/b_1}} = \frac{4 \times 800}{\sqrt{0.4/3.0 \times 10^{-6}}} \text{ kA} = 8.77 \text{ kA}$$

解法 2：根据《交流电气装置的过电压保护与绝缘配合》（DL/T 620—1997）式（C23）有

$$I_2 = \frac{U_{50\%}}{100} = \frac{800}{100} \text{ kA} = 8 \text{ kA}$$

分析：解法 1 和解法 2 答案不同，原因在于解法 2 的波阻抗等于 400Ω ，本题中给出了电抗和电纳值，波阻抗需要重新算，故答案应该选 B。本题的解答仍存在争议。原因在于《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）与《交流电气装置的过电压保护与绝缘配合》（DL/T 620—1997）存在差异，后者直接给出了公式，计算公式表明雷击耐雷水平与导线波阻抗没关系。但我们仍倾向于解法 1 的结果，也许这是出题人设的一个陷阱。

(3) 若线路位于我国的一般雷电地区（雷电日为 40 天）的山地，且雷击杆塔和导线时的耐雷水平分别为 75kA 和 10kA，雷击次数为 25 次/(100km·年)，建弧率 $\eta = 0.8$ ，线路的跳闸率为下列哪项值？（按《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）计算，保留三位小数）

- (A) 1.176 次/(100km·年) (B) 0.809 次/(100km·年)
(C) 0.735 次/(100km·年) (D) 0.603 次/(100km·年)

答案：[C]

解答过程：1) 根据《交流电气装置的过电压保护与绝缘配合》（DL/T 620—1997）式（C24）有

$$N = N_L \eta (gP_1 + P'_a P_2)$$

式中， N_L 为每 100km 每年的雷击次数，由题目可知 $N_L = 25$ ， η 为建弧率，本题中取 $\eta = 0.8$ 。

2) P_1 为超过雷击塔顶部时耐雷水平的雷电流概率，由式（C1）可得

$$\lg P_1 = -\frac{I}{88} = -\frac{75}{88} \Rightarrow P_1 = 0.142$$

3) P_2 为超过雷绕击导线时耐雷水平的雷电流概率，由式（C1）可得

$$\lg P_2 = -\frac{I}{88} = -\frac{10}{88} \Rightarrow P_2 = 0.77$$

4) 对于山地

$$\lg P'_a = \frac{\alpha \sqrt{h_t}}{86} - 3.35 = \frac{10 \sqrt{33}}{86} - 3.35 = -2.68 \Rightarrow P'_a = 0.0021$$

5) g 为击杆率, 由表 C4 可得

$$g = \frac{1}{4}$$

把以上参数的值代入可得

$$N = 25 \times 0.8 \times \left(\frac{1}{4} \times 0.142 + 0.0021 \times 0.77 \right) \text{次}/(100\text{km} \cdot \text{年}) = 0.737 \text{次}/(100\text{km} \cdot \text{年})$$

(4) 使线路的绕击概率不大于 0.20%, 若为平原地区线路, 地线对边导线的保护角应控制在多少度以内?

- (A) 9.75° (B) 17.98° (C) 23.10° (D) 14.73°

► 答案: [B]

► 解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 式 (C19) 可得

$$\lg P'_a = \frac{\alpha \sqrt{h_t}}{86} - 3.9$$

本题中已知 $P'_a = 0.2\%$, 从而有

$$\begin{aligned} \frac{\alpha \sqrt{h_t}}{86} - 3.9 &= \lg \frac{0.2}{100} \\ \Rightarrow \frac{\alpha \sqrt{33}}{86} - 3.9 &= -2.7 \\ \Rightarrow \alpha \sqrt{33} &= 1.2 \\ \Rightarrow \alpha &= 17.96^\circ \end{aligned}$$

(5) 高土壤电阻率地区, 提高线路雷击塔顶时的耐雷水平, 简单易行的有效措施是:

- (A) 减小对边相导线的保护角 (B) 降低杆塔接地电阻
(C) 增加导线绝缘子串的绝缘子片数 (D) 地线直接接地

► 答案: [C]

► 解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 第 5.1.2-c) 条: 因雷击架空线路杆顶形成作用于线路绝缘的雷电反击过电压, 与雷电参数、杆塔型式、高度与接地电阻有关; 宜适当选取杆塔的接地电阻, 以减少雷电反击过电压的危害。减小边导线的导线的保护角有助于减少绕击率, 同时又受到避雷线间距离的限制, 对提高线路雷击塔顶时的耐雷水平起不到效果, 故 A 答案错误; 高土壤电阻率地区, 降低杆塔接地电阻并非易事, 故 B 答案错误; 在高土壤电阻率地区地线直接接地, 也不是经济有效的措施; 增加绝缘子片数会增加投资, 但在高土壤电阻率地区应该是首选的措施。

► 分析: 补充 2 个知识点。

1) 什么是输电线路的耐雷水平?

输电线路的耐雷水平是反映输电线路抵抗雷击能力的重要技术特性, 它是用雷电流的大小来表示的。即雷击线路时, 不致使线路绝缘闪络的最大雷电流值, 叫做输电线路的耐雷水平。

2) 什么是绕击? 什么是反击?

避雷线对线路的防雷作用并不是绝对的, 我们把雷绕过避雷线而直接击到导线上的现象叫绕击。反击又叫逆闪络。当雷击避雷线或杆塔顶部时, 如接地电阻值很大, 则杆塔顶部的电位就可能比导线的电位高很多, 由这个电压引起的绝缘子串闪络称为反击。

题 6: 某单回路 500kV 架空送电线路, 采用 4 分裂 LGJ-400/35 导线。导线的基本参数见表 14-1。

表 14-1 导线的基本参数

导线型号	拉断力/N	外径/mm	截面/mm ²	单重/(kg/m)	弹性系数/(N/mm ²)	线膨胀系数/(1/℃)
LGJ-400/35	98707.5	26.82	425.24	1.349	65000	20×10^{-6}

注: 拉断力为试验保证拉断力。

该线路的主要气象条件为: 最高温度 40℃, 最低温度 -20℃, 年平均气温 15℃, 最大风速 30m/s (同时气温 -5℃), 最大覆冰厚度 10mm (同时气温 -5℃, 同时风速 10m/s。且重力加速度取 10)。(2011)

(1) 最大覆冰时的水平风比载为下列哪项值?

- (A) $7.57 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (B) $8.26 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$
(C) $24.47 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (D) $15.23 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$

答案: [B]

解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 表 3-2-3 及表 3-1-15 可知覆冰时的风荷载为

$$\gamma_5 = \frac{g_5}{A} = \frac{0.625v^2(d+2\delta)\alpha\mu_{sc} \times 10^{-3}}{A} = \frac{0.625 \times 10^2 \times (26.82 + 2 \times 10) \times 1 \times 1.2 \times 10^{-3}}{425.24} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$$

$$= 8.26 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$$

式中, $\mu_{sc} = 1.2$, 为电线受风体型系数; $\alpha = 1$, 为电线风压不均匀系数。以上两个参数可查表 3-1-15 得到。

(2) 若该导线的最大使用张力为 39483N, 请计算导线的最大悬点张力大于下列哪项值时, 需要放松导线?

- (A) 43870N (B) 43431N (C) 39483N (D) 59224N

答案: [B]

解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 第 184 页有关叙述可知, 如果线路上的档距超过相应高差时的极大档距, 则必须放松导线应力才符合规程要求。此时悬挂点的应力应保持为破坏应力的 44%, 而弧垂最低点的应力则为破坏应力的 40% 乘以放松系数。本题中, 悬挂点的应力应该为破坏应力的 44%, 可得悬挂点应力为 $98707.5 \text{ N} \times 44\% = 43431.3 \text{ N}$ 。而弧垂最低点的应力为 39483N, 刚好为 $98707.5 \text{ N} \times 40\% = 39483 \text{ N}$ 。此时尚不需要放松导线, 但当悬挂点应力大于 43431.3N 时, 即导线的最大使用张力大于 39483N 时, 就需要放松导线了 (注意: 在放松导线时, 悬挂点应力保持为破坏应力

的 44%，而弧垂最低点的应力则为破坏应力的 40% 乘以放松系数)。

(3) 若代表档距为 500m，年平均气温条件下的应力为 50N/mm² 时，最高气温时的应力最接近下列哪项数值？

- (A) 58.5N/mm² (B) 47.4N/mm² (C) 50.1N/mm² (D) 51.4N/mm²

► 答案：[B]

► 解答过程：1) 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 式 (3-3-1) 有

$$\sigma_m - \frac{\gamma_m^2 l^2 E}{24\sigma_m^2} = \sigma - \frac{\gamma^2 l^2 E}{24\sigma^2} - \alpha E(t_m - t)$$

2) 本题中已知 σ_m 、 γ_m 、 E 、 t_m 、 t 等值，要求 σ ，由题意有

$$\gamma_m = \gamma = \frac{g_1}{A} = \frac{10 \times 1.349}{425.24} = 0.031$$

$$\Rightarrow 50 - \frac{0.031^2 \times 500^2 \times 65000}{24 \times 50^2} = \sigma - \frac{0.031^2 \times 500^2 \times 65000}{24\sigma^2} - 20 \times 10^{-6} \times 65000 \times (15 - 40)$$

$$\Rightarrow \sigma - \frac{650677}{\sigma^2} = -243$$

把 A、B、C、D 四个答案代入，只有 B 答案满足上述方程，故选 B 为正确答案。

(4) 在校验杆塔间隙时，经常要考虑导线 Δf (导线在塔头处的弧垂) 及其风偏角，若此时导线的水平比载 $\gamma_4 = 23.80 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ ，那么，导线的风偏角为多少度？

- (A) 47.91° (B) 42.00° (C) 40.15° (D) 36.88°

► 答案：[D]

► 解答过程：已知水平比载，故先算出垂直比载，根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 表 3-2-3 自重力比载公式有

$$\gamma_1 = \frac{g_1}{A} = \frac{10 \times 1.349}{425.24} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2) = 31.7 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$$

依题意：

$$\tan \varphi = \frac{\gamma_4}{\gamma_1} = \frac{23.8 \times 10^{-3}}{31.7 \times 10^{-3}} \Rightarrow \varphi \approx 36.88^\circ$$

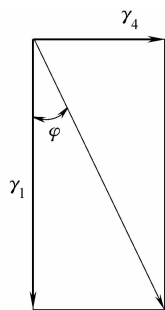


图 14-2

► 分析：本题的受力示意图如图 14-2。

(5) 设年平均气温条件下的比载为 $30 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ ，水平应力为 50N/mm²，且某档的档距为 600m，悬点高差为 80m，该档的导线长度最接近下列哪项数值？(按平抛公式计算)

- (A) 608.57m (B) 605.13m
(C) 603.24m (D) 602.52m

► 答案：[A]

► 解答过程：根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 表 3-3-1 的公式。对于平抛物线档内线长为

$$L = l + \frac{h^2}{2l} + \frac{\gamma^2 l^3}{24\sigma_0^2} = \left[600 + \frac{80^2}{2 \times 600} + \frac{(30 \times 10^{-3})^2 \times 600^3}{24 \times 50^2} \right] \text{m} = 608.57 \text{m}$$

题 7: 某 500kV 架空送电线路设双地线，具有代表性的铁塔为酒杯塔，塔的全高为 45m，导线为 4 分裂 LGJ-500/45（直径 $d = 30\text{mm}$ ）钢芯铝绞线，采用 28 片 XP-160（ $H = 155$ ）悬垂绝缘子串，线间距离为 12m，地线为 GJ-100 型镀锌钢绞线（直径 $d = 15\text{mm}$ ），地线对边相导线的保护角为 10° ，地线平均高度为 30m。请解答下列各题。（2010）

(1) 若地线的自波阻抗为 540Ω ，两地线的互波阻抗为 70Ω ，两地线与边导线的互波阻抗分别为 55Ω 和 100Ω ，计算两地线共同对该边导线的几何耦合系数应为下列哪项数值？

- (A) 0.185 (B) 0.225 (C) 0.254 (D) 0.261

答案：[C]

解答过程：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）附录 C 式（C7）得

$$k_{12,3} = \frac{Z_{13} + Z_{23}}{Z_{11} + Z_{12}} = \frac{55 + 100}{540 + 70} = 0.254$$

式中， Z_{11} 为地线的自波阻抗； Z_{12} 为两地线互波阻抗； Z_{13} 为地线 1 对边导线 3 的互波阻抗； Z_{23} 为地线 2 对边导线 3 的互波阻抗。

(2) 若两地线共同对边导线的几何耦合系数为 0.26，计算电晕下耦合系数为（在雷直击塔顶时）（ ）。

- (A) 0.333 (B) 0.325 (C) 0.312 (D) 0.260

答案：[A]

解答过程：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）附录 C 的式（C3）及表 C1，导线和避雷线间的耦合系数 k 因电晕效应而增大，可按下列式计算：

$$k = k_1 k_0 = 1.28 \times 0.26 = 0.333$$

(3) 若该线路所在地区雷电日为 40 天，两地线水平距离为 20m，请计算线路每 100km 每年雷击次数为（ ）。

- (A) 56.0 (B) 50.6 (C) 40.3 (D) 39.2

答案：[D]

解答过程：根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）附录 C 的式（C11），根据 $T_d = 40$ 的地区避雷线或导线平均高度为 h 的线路，线路每 100km 每年雷击次数为

$$N_L = 0.28 \times (b + 4h) = 0.28 \times (20 + 4 \times 30) = 39.2$$

(4) 若该线路所在地区为山区，请计算线路的绕击率为（ ）。

- (A) 0.076% (B) 0.194% (C) 0.245% (D) 0.269%

答案: [D]

解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 附录 C8 的式 (C19), 对山区线路有

$$\lg P'_\alpha = \frac{\alpha \sqrt{h_t}}{86} - 3.35 = \frac{10 \sqrt{45}}{86} - 3.35 = -2.57$$

从而得到

$$P'_\alpha = 0.269\%$$

式中, h_t 为杆塔高度; α 为避雷线对边导线的保护角。

故选 D 为正确答案。

(5) 为了使线路在平原地区的绕击率不大于 0.10%, 请计算当杆塔高度为 55m, 地线对边相导线的保护角应控制在多少以内?

(A) 4.06° (B) 10.44° (C) 11.54° (D) 12.65°

答案: [B]

解答过程: 根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 附录 C 的 C8 的式 (C18), 对平原线路有

$$\begin{aligned} \lg P_\alpha &= \frac{\alpha \sqrt{h_t}}{86} - 3.9 \\ \Rightarrow P_\alpha &= 10^{\frac{\alpha \sqrt{h_t}}{86} - 3.9} \leq 0.1\% \\ \Rightarrow \frac{\alpha \sqrt{55}}{86} - 3.9 &\leq \lg 0.1\% = -3 \\ \Rightarrow \alpha &\leq 10.44^\circ \end{aligned}$$

故选 B 为正确答案。

题 8: 某单回 220kV 架空送电线路, 采用两分裂 LGJ300/40 导线, 气象条件见表 14-2, 导线基本参数见表 14-3。(2010)

表 14-2 气象条件

工 况	气 温	风速/(m/s)	冰厚/mm
最高气温	40	0	0
最低气温	-20	0	0
年平均气温	15	0	0
最大覆冰	-5	10	10
最大风速	-5	30	0

表 14-3 导线基本参数

导线型号	拉断力/N	外径/mm	截面/mm ²	单重/(kg/m)	弹性系数/(N/mm ²)	线膨胀系数/(1/°C)
LGJ300/40	87600	33.94	338.99	1.133	73000	19.6 × 10 ⁻⁶

(1) 计算最大覆冰时的垂直比载 (自重比载加冰重比载) γ_3 为何值? 已知 $g = 9.8$ 。

(A) $32.777 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (B) $27.747 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$
(C) $68.483 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (D) $54.534 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$

答案: [C]

► 解答过程：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）表 3-2-3 自重力加冰重力荷载的比载为 γ_3 ，且

$$\begin{aligned}\gamma_3 &= \frac{g_3}{A} = \frac{g_1 + g_2}{A} = \frac{9.8p_1 + 9.8 \times 0.9\pi\delta(\delta + d) \times 10^{-3}}{A} \\ &= \frac{9.8 \times 1.133 + 9.8 \times 0.9 \times 3.14 \times 10 \times (10 + 33.94) \times 10^{-3}}{338.99} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2) \\ &= 68.6 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)\end{aligned}$$

(2) 计算最大风速工况下的风荷比载 γ_4 （计算杆塔用，不计及风压高度变化系数）。

- (A) $29.794 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (B) $46.465 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$
(C) $32.773 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (D) $30.354 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$

► 答案：[B]

► 解答过程：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）表 3-1-14 和表 3-1-15 得

$$\mu_{sc} = 1.1, a = 0.75$$

由表 3-2-3 可得

$$\begin{aligned}\gamma_4 &= \frac{g_4}{A} = \frac{0.625 \times v^2 \times d a \mu_{sc} \times 10^{-3}}{A} = \frac{0.625 \times 30^2 \times 33.94 \times 0.75 \times 1.1 \times 10^{-3}}{338.99} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2) \\ &= 46.46 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)\end{aligned}$$

表 3-1-14 电线不均匀系数 α

基准高度的风速 $v(\text{m/s})$ α	≤ 10	15	$20 \leq v < 30$	$30 \leq v < 35$	$v \geq 35$
计算杆塔所受张力和风荷载时	1.0	1.0	0.75	0.75	0.7
校验电气间隙计算张力和风荷载时	1.0	0.75	0.61	0.61	0.61

表 3-1-15 电线受风体型系数 μ_{sc}

表面情况	无冰时		覆冰时
电线外径 $d(\text{mm})$	$d < 17$	$d \geq 17$	不论 d 大小
μ_{sc}	1.2	1.1	1.2

(3) 已知最低气温和最大覆冰是两个有效控制条件，则存在有效临界档距为（ ）。

- (A) 155m (B) 121m (C) 92m (D) 142m

► 答案：[D]

► 解答过程：1) 最低气温时比载：

$$\gamma_1 = \frac{g_1}{A} = \frac{9.8 \times p_1}{A} = \frac{9.8 \times 1.133}{338.99} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2) = 32.75 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$$

2) 最大覆冰时的综合比载：

自重加冰重为：

$$\gamma_3 = 68.6 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$$

覆冰时风荷载为

$$\begin{aligned}\gamma_5 &= \frac{g_5}{A} = \frac{0.625 \times v^2 \times (d + 2\delta) \alpha u_{\text{SC}} \times 10^{-3}}{A} \\ &= \frac{0.625 \times 10^2 \times (33.94 + 20) \times 1 \times 1.1 \times 10^{-3}}{338.99} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2) \\ &= 10.94 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)\end{aligned}$$

则最大覆冰时的综合比载为

$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2} = \sqrt{(68.6^2 + 10.94^2) \times 10^{-6}} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2) = 69.5 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$$

3) 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)式(3-3-19)、式(3-3-20)有

$$\begin{aligned}l_{\text{cr}} &= \sigma_m \sqrt{\frac{24a(t_m - t_n)}{\gamma_1^2 - \gamma_7^2}} = \frac{\sigma_{\text{ts}}}{F} \sqrt{\frac{24a(t_m - t_n)}{\gamma_1^2 - \gamma_7^2}} \\ &= \frac{87600}{338.99 \times 2.5} \times \sqrt{\frac{24 \times 19.6 \times 10^{-6} [-20 - (-5)]}{(32.75^2 - 69.5^2) \times 10^{-6}}} \text{ m} = 103.36 \times \sqrt{\frac{-7056}{32.75^2 - 69.5^2}} \text{ m} \\ &= 103.36 \times 1.37 \text{ m} = 141.6 \text{ m}\end{aligned}$$

式中, 2.5 为安全系数。

(4) 若导线在最大风时应力为 $100 \text{ N}/\text{mm}^2$, 最高气温时应力为 $50 \text{ N}/\text{mm}^2$, 某直线塔的水平档距为 400 m , 最高气温时的垂直档距为 300 m , 计算最大风速垂直档距为 ()。

- (A) 600m (B) 200m (C) 350m (D) 380m

答案: [B]

解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)式(3-3-11)、式(3-3-12), 本题为直线杆塔, 故有 $\sigma_{10} = \sigma_{20} = \sigma$ 。

$$l_v = l_H + \frac{\sigma_0}{\gamma_v} \alpha$$

最高气温时,

$$300 = l_H + \frac{\sigma_A}{\gamma_v} \alpha \Rightarrow \frac{\sigma_A}{\gamma_v} \alpha = -100 \Rightarrow \frac{\alpha}{\gamma_v} = -2$$

最大风速时,

$$l_v = l_H + \frac{\sigma_B}{\gamma_v} \alpha = (400 - 200) \text{ m} = 200 \text{ m}$$

(5) 若线路某气象条件下自重力比载为 $0.033 \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$, 冰重力比载为 $0.040 \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$, 风荷比载为 $0.020 \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$, 综合比载为 $0.0757 \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$, 导线水平应力为 $115 \text{ N}/\text{mm}^2$, 计算在该气象条件下档距为 400 m 的最大垂弧为 ()。

- (A) 13.2m (B) 12.7m (C) 10.4m (D) 8.5m

答案: [A]

解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)表 3-3-1 有关公式

可得

$$f_m = \frac{\gamma l^2}{8\sigma_0} = \frac{0.0757 \times 400^2}{8 \times 115} \text{m} = 13.2 \text{m}$$

分析：本题的关键在于知道公式中各个物理量的含义。

题 9：根据《110 ~ 500kV 架空送电线路设计技术规程》（DL/T 5092—1999），设计一条交流 500kV 单回架空送电线路，海拔为 2000m，最大风速为 32m/s。（2009）

(1) 运行电压应满足的空气间隙为（ ）。

- (A) 1.300m (B) 1.380m (C) 1.495m (D) 1.625m

答案：[C]

解答过程：根据《110 ~ 500kV 架空送电线路设计技术规程》（DL/T 5092—1999）第 9.0.6 条、第 9.0.7 条，以及表 9.0.6 可知在海拔高度超过 1000m 地区，海拔高度每增加 100m，操作过电压和运行电压的间隙，应较表 9.0.6 所列数值增加 1%。本题中海拔高度为 2000m，查表 9.0.6 得 500kV 工频电压下带电部分与杆塔构件的最小间隙为 1.3m，根据以上讨论可得本题的运行电压应满足的空气间隙为

$$1.3 \times \left(1 + \frac{2000 - 1000}{100} \times 1\% \right) \text{m} = 1.43 \text{m}$$

9.0.6 在海拔不超过 1000m 的地区，带电部分与杆塔构件（包括拉线、脚钉等）的间隙，在相应风偏条件下，不应小于表 9.0.6 所列数值。

表 9.0.6 带电部分与杆塔构件的最小间隙 m

标称电压(kV)	110	220	330	500
雷电过电压	1.00	1.90	2.3	3.30 3.30
操作过电压	0.70	1.45	1.95	2.50 2.70
工频电压	0.25	0.55	0.90	1.20 1.30

注：1. 按雷电过电压和操作过电压情况校验间隙时的相应气象条件，参见附录 A（标准的附录）。

2. 按运行电压情况校验间隙时采用最大风速及相应气温；

3. 500kV 空气间隙栏，左侧数据适用于海拔高度不超过 500m 地区；右侧数据适用于海拔高度不超过 500m 但不超过 1000m 的地区；

9.0.7 在海拔高度超过 1000m 地区，海拔高度每增高 100m，操作过电压和运行电压的间隙，应较表 9.0.6 所列数值增大 1%。

如因高海拔而增加绝缘子数量，则表 9.0.6 所列的雷电过电压最小间隙也应相应增大。

分析：本题已经指明要根据《110 ~ 500kV 架空送电线路设计技术规程》（DL/T 5092—1999）作答。若根据《110 ~ 500kV 架空送电线路设计技术规程》（GB 50545—2010）第 7.0.12 条及条文说明第 7.0.12 条作答也是可以的。根据条文说明，该条是根据 IEC 60071-2 规定而制定的，体现了与国际接轨的思想。该条文说明指出，针对 110kV ~ 500kV 输电线路也可采用以下修正方法：在海拔高度超过 1000m 地区，海拔高度每增加 100m，操作过电压和运行电压的间隙，应比本规范表 7.0.9 所列数值增大 1%。如因高海拔而增加绝缘子数量，则表 7.0.9 所列的雷电过电压最小间隙也应相应增大。查表 7.0.9-1，500kV 工

频电压下带电部分与杆塔构件的最小间隙为 1.3m，后面的解答过程跟本题的解答一致。

(2) 操作过电压，取风速 ()。

- (A) 10m/s (B) 15m/s (C) 32m/s (D) 16m/s

► 答案：[D]

► 解答过程：根据《110kV ~ 500kV 架空送电线路设计技术规程》(DL/T 5092—1999) 附录 A，操作过电压风速为 $0.5 \times \text{最大风速} = 0.5 \times 32\text{m/s} = 16\text{m/s}$ ，故选 D。

► 分析：本题若根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 4.0.13 条，操作过电压工况的气温可采用年平均气温，风速宜取基本风速折算到导线平均高度处的风速的 50%，但不宜低于 15m/s，根据题目中给出的条件，尚无法计算出基本风速折算到导线平均高度处的风速的 50%，故本题根据老规范解答。

(3) 悬垂绝缘子串采用 155mm 盘式绝缘子 (不考虑爬电比径)，则需要的片数为 ()。

- (A) 25 片 (B) 29 片 (C) 31 片 (D) 32 片

► 答案：[B]

► 解答过程：1) 根据《110kV ~ 500kV 架空送电线路设计技术规程》(DL/T 5092—1999) 表 9.0.2 可得 500kV 绝缘子的基本片数取 25 片 (高度为 155mm)。

表 9.0.2 操作过电压及雷电过电压要求悬垂绝缘子串的最少片数

标称电压(kV)	110	220	330	500
单片绝缘子的高度(mm)	146	146	146	155
绝缘子片数(片)	7	13	17	25

2) 根据《110kV ~ 500kV 架空送电线路设计技术规程》(DL/T 5092—1999) 第 9.0.5 条知，在海拔高度为 1000 ~ 3500m 的地区，绝缘子串的片数，如无运行经验，可按式 9.0.5 确定，即

$$n_h = n[1 + 0.1(H - 1)] = 25 \times [1 + 0.1 \times (2 - 1)] \text{片} = 27.5 \text{片}$$

3) 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 第 21.0.5 条，考虑绝缘子的老化，330kV 及以上悬垂串需要预留 (1 ~ 2) 片零值绝缘子，可得

$$n = n_h + (1 \sim 2) = 28.5 \sim 29.5$$

取 29 片。

► 分析：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 并没有悬垂绝缘子串零值绝缘子的规定，对厂站应该加零值绝缘子，对线路则不应加零值绝缘子，故本题若没有上面的第 3) 步，答案为 27.5 片，也应选 B。若根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 7.0.5 条、7.0.8 条及公式 7.0.5、7.0.8 和附录 C 解答，尚有部分条件未给出，因此只能按老规范作答。绝缘子的片数选择经常出题，这里总结如下：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 7.0.2 条，这里的绝缘子片数是指按操作过电压及雷击过电压的要求而选择的悬垂绝缘子片数，而耐张绝缘

子串受力比悬垂绝缘子串大，容易产生零值绝缘子，因而通常使用耐张绝缘子串片数比悬垂绝缘子串片数多1~2片。根据7.0.3条，对超过40m的杆塔，还要随杆塔的高度进行修正。以上选择的绝缘子片数不是按工频污闪电压来进行选择的，因此如按公式（7.0.5）对通过污秽地区的耐张绝缘子片数进行计算，并按第7.0.3条进行修正，并且计算得出的绝缘子片数满足第7.0.2条所要求的片数时，可不再考虑比悬垂绝缘子串增加片数。

(4) 悬垂绝缘子串采用170mm盘式绝缘子（不考虑爬电比径），则需要的片数为（ ）。

- (A) 25片 (B) 27片 (C) 29片 (D) 32片

答案：[B]

解答过程：在第（3）题的基础上，按两者爬电距离相等选取需要的绝缘子片数，故有

$$\begin{aligned}29 \times 155 &= x \times 170 \\ \Rightarrow x &= 26.4\end{aligned}$$

(5) 若采用31片155mm盘式绝缘子（防雷电压50与放电间隙按线性考虑），雷电过电压间隙为（ ）。

- (A) 3.3m (B) 4.1m (C) 3.8m (D) 3.7m

答案：[D]

解答过程：根据《110kV~500kV架空送电线路设计技术规程》（DL/T 5092—1999）第9.0.6条、第9.0.7条以及表9.0.6可得，500kV带电部分与杆塔构件的最小间隙取3.3m，现绝缘子片数为31片，在第（3）题的基础上，雷电过电压间隙应该按比例增加为 $3.3\text{m} \times 31/29 = 3.53\text{m}$ ，故取3.7m。

分析：本题若根据《110kV~750kV架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第7.0.9条、表7.0.9-1及注3，解答过程跟用老规范是一样的。

7.0.9 在海拔不超过1000m的地区，在相应风偏条件下，带电部分与杆塔构件（包括拉线、脚钉等）的最小间隙，应符合表7.0.9-1和7.0.9-2的规定。

表 7.0.9-1 110kV~500kV 带电部分与杆塔构件（包括拉线、脚钉）的最小间隙 m

标称电压(kV)	110	220	330	500	
工频电压	0.25	0.55	0.90	1.20	1.30
操作过电压	0.70	1.45	1.95	2.50	2.70
雷电过电压	1.00	1.9	2.30	3.30	3.30

表 7.0.9-2 750kV 带电部分与杆塔构件（包括拉线、脚钉）的最小间隙 m

标称电压(kV)		750	
海拔高度(m)		500	1000
工频电压	I串	1.80	1.90
操作过电压	边相I串	3.80	4.00
	中相V串	4.60	4.80
雷电过电压		4.20(或按绝缘子串放电电压的0.80配合)	

注：1. 按雷电过电压和操作过电压情况校验间隙时的相应气象条件，可按本规范附录A的规定取值。

2. 按运行电压情况校验间隙时风速采用基本风速修正至相应导线平均高度处的值及相应气温。

3. 当因高海拔而需要增加绝缘子数量时，雷电过电压最小间隙也应相应增大。

4. 500kV空气间隙栏，左侧数据适合于海拔高度不超过500m地区；右侧用于海拔不超过100m地区。

题 10: 单回 500kV 架空线, 水平排列, 4 分裂 LGJ-300/40 导线, 截面积为 338.99mm², 外径为 23.94mm, 单位重为 1.133kg/m, 线所在环境的主要气象条件见表 14-4。
最大弧垂计算为最高气温, 绝缘子串重为 200kg, (提示: 均用平抛物线公式) (2009)

表 14-4 主要气象条件

气象	垂直比载 ($\times 10^{-3}$)/ N/(m·mm ²)	水平比载 ($\times 10^{-3}$)/ N/(m·mm ²)	综合比载 ($\times 10^{-3}$)/ N/(m·mm ²)	水平应力/ (N/mm ²)
最高气温	32.78	0	32.78	53
最低气温	32.78	0	32.78	65
年平均气温	32.78	0	32.78	58
最大覆冰	60.54	9.53	61.28	103
最大风(杆塔荷载)	32.78	32.14	45.91	82
最大风(塔头风偏)	32.78	26.14	41.93	75

(1) 大风、水平档距为 500m, 垂直档距为 217m, 不计绝缘子串风压, 则绝缘子串风偏角为 ()。

- (A) 51.1° (B) 52.6° (C) 59.1° (D) 66.6°

答案: [B]

解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 式 (2-6-44), 悬垂绝缘子串风偏角为

$$\varphi = \arctan\left(\frac{P_j/2 + PL_h}{G_j/2 + W_1 L_v}\right) = \arctan\left(\frac{0.02614 \times 500 \times 338.99}{200 \times 9.8/2 + 1.133 \times 9.8 \times 217}\right) = 52.58^\circ$$

(2) 若耐张段内某档的档距为 1000m, 导线悬点高差 300m, 年平均气温下, 该档较高侧导线悬垂角约为 ()。

- (A) 30.2° (B) 31.4° (C) 33.7° (D) 34.3°

答案: [A]

解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 表 3-3-1 公式有

$$\theta_B = \arctan\left(\frac{\gamma l}{2\sigma_0} + \frac{h}{l}\right) = \arctan\left(\frac{0.03278 \times 1000}{2 \times 58} + \frac{300}{1000}\right) = 30.22^\circ$$

(3) 当高差较大时, 校安全系数, 某档档距为 400m, 导线悬点高差 150m, 最大覆冰, 高塔处导线悬点处应力为 ()。

- (A) 115.5N/mm² (B) 106.4N/mm² (C) 105.7N/mm² (D) 104.5N/mm²

答案: [A]

解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 表 3-3-1 公式有

$$\sigma_B = \sigma_0 + \frac{\gamma^2 l_{OB}^2}{2\sigma_0} = \left(103 + \frac{0.06128^2 \times 830.3^2}{2 \times 103}\right) \text{N/mm}^2 = 115.57 \text{N/mm}^2$$

$$l_{OB} = \frac{l}{2} + \frac{\sigma_0}{\gamma} \tan \beta = \left(\frac{400}{2} + \frac{103}{0.06128} \times 0.375 \right) \text{m} = 830.3 \text{m}$$

$$\tan \beta = \frac{h}{l} = \frac{150}{400} = 0.375$$

或者

$$f_m = \frac{\gamma l^2}{8\sigma_0} = \frac{0.06128 \times 400^2}{8 \times 103} \text{m} = 11.9 \text{m}$$

$$\begin{aligned} \sigma_B &= \sigma_0 + \gamma f_m \left(1 + \frac{h}{4f_m} \right)^2 = \left[103 + 0.06128 \times 11.9 \times \left(1 + \frac{150}{4 \times 11.9} \right)^2 \right] \text{N/mm}^2 \\ &= 115.56 \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

(4) 排位时，该耐张段内某塔水平档距为 400m，垂直档距为 800m，不计绝缘子串重量、风压，应该采用的绝缘子串为（ ）。(不考虑断线、断联及常年满载工况，不计纵向张力差)

- (A) 单联 120kN 绝缘子串 (B) 单联 160kN 绝缘子串
(C) 双联 210kN 绝缘子串 (D) 双联 160kN 绝缘子串

答案：[C]

解答过程：由《电力工程电气设计手册 电气一次部分》附表 8-4 得 LGJ-300/40 导线计算拉断力为 92220N。根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 5.0.7 及第 6.0.1 条：导线的设计安全系数不小于 2.5，取 2.5，则导线在最低点的最大张力 $T_{\max} = T_p / 2.5 = 92220 \text{N} \times 4 / 2.5 = 147552 \text{N}$ ；盘型绝缘子最大使用荷载时，安全系数不低于 2.7，取 2.7，故绝缘子的额定破坏荷载 = $2.7 \times 147552 \text{N} = 398.4 \text{kN}$ ，若选择双联串，则绝缘子串每联的破坏荷载为 $398.4 / 2 \text{kN} = 199.2 \text{kN}$ 。故选 C 为正确答案。

题 11：单回路 220kV 架空送电线路，导线直径为 27.63mm，截面为 451.55mm²，单位长度质量为 1.511kg/m，本线路在某档需跨越高速公路，该档档距为 450m，导线在 40℃时最低点张力为 24.32kN，导线在 70℃时最低点张力为 23.1kN，两塔均为直线塔，悬垂串长度为 3.4m， $g = 9.8 \text{N/kg}$ 。(2008)

(1) 若某气象条件下（无冰）单位风荷载为 3N/m，则该导线的综合荷载应为下列哪组数值？

- (A) 14.8N/m (B) 17.8N/m (C) 16.2N/m (D) 15.1N/m

答案：[D]

解答过程：根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 第 3-2 节（电线的机械特性和比载）第 177 页表 3-2-3 可得导线自重荷载为 $p_1 g = 1.511 \times 9.8 \text{N/m} = 14.81 \text{N/m}$ 。由已知条件导线风荷载 3N/m，故综合荷载为 $\sqrt{14.81^2 + 3^2} \text{N/m} = 15.1 \text{N/m}$ ，故本题选 D。

(2) 假设跨越高速公路时，两侧跨越直线塔呼称高度相同，则两侧直线塔的呼称高应至少为下列哪项数值？(用平抛物线公式)

- (A) 27.6m (B) 26.8m (C) 24.2m (D) 28.6m

► 答案: [A]

► 解答过程: 呼称高又称为杆塔呼称高、杆塔标志高, 指杆塔最下层横担的绝缘子悬挂点至地面水平面的垂直距离。为计算出呼称高, 先应算出最大弧垂, 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 表 3.3-1, 使用平抛物线时, 最大弧垂的计算公式为

$$f_m = \frac{\gamma l^2}{8\sigma_0} = \frac{1.511 \times 9.8 / 451.55 \times 450^2}{8 \times \frac{23100}{451.55}} \text{m} = 16.23 \text{m}$$

根据《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 表 13.0.11, 220kV 送电线路跨越高速公路, 最小垂直距离为 8m。故该高速公路两侧线塔的呼称高的高度最小为 16.2m (弧垂) + 8m (最小净空距离) + 3.4m (悬垂串长度) = 27.6m。故本题选 A。

► 分析: 根据呼称高的定义, 应该是悬垂绝缘子串悬挂点至地面水平面之间的距离, 应该计入悬垂串的长度。

(3) 求在跨越档中距铁塔 150m 处, 40℃时导线弧垂应为下列哪项数值? (用平抛物线公式)

- (A) 14.43m (B) 12.51m (C) 13.71m (D) 14.03m

► 答案: [C]

► 解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 表 3-3-1, 40℃时导线弧垂为

$$f_m = \frac{\gamma l^2}{8\sigma_0} = \frac{1.511 \times 9.8 / 451.55 \times 450^2}{8 \times \frac{24320}{451.55}} \text{m} = 15.41 \text{m}$$

设坐标 O 点位于电线悬挂点 A, 档中距铁塔 150m 处的弧垂为

$$f_x = \frac{4x'}{l} \left(1 - \frac{x'}{l} \right) f_m = \frac{4 \times 150}{450} \times \left(1 - \frac{150}{450} \right) \times 15.41 \text{m} = 13.7 \text{m}$$

故选 C 答案。

(4) 若塔水平档距为 425m, 垂直档距为 500m, 若导线大风时的垂直比载为 $33 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$, 水平比载为 $28 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$, 则该塔悬垂串的摇摆角 (即风偏角) 应为下列哪项数值 (不考虑绝缘子影响)?

- (A) 35.8° (B) 44.9° (C) 54.2° (D) 25.8°

► 答案: [A]

► 解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 第 103 页式 (2-6-44), 悬垂绝缘子串摇摆角计算:

$$\varphi = \arctan \left(\frac{P_1/2 + PL_h}{G_1/2 + W_1 L_v + \alpha T} \right) = \arctan \left(\frac{28 \times 10^{-3} \times 425 \times 451.55}{1.511 \times 9.8 \times 500} \right) \approx 35.8^\circ$$

或者

$$\varphi = \arctan\left(\frac{P_1/2 + PL_h}{G_1/2 + W_1 L_v}\right) = \arctan\left(\frac{28 \times 10^{-3} \times 425 \times 451.55}{0.033 \times 500 \times 455.1}\right) = 35.8^\circ$$

题 12: 某单回路架空送电线路，导线的直径为 23.94mm，截面为 338.99mm²，单位长度质量为 1.133kg/m，设计最大覆冰厚度为 10mm，设计风速为 10m/s（提示 $g = 9.8\text{N/kg}$ ）。（2008）

(1) 请设计导线的自重比载应为下列哪项数值？

- (A) $32.8 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (B) $3.34 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$
(C) $32.8 \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (D) $38.5 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$

答案：[A]

解答过程：由《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）表 3-2-3（电线的荷载和比载）导线自重比载为

$$\gamma_1 = \frac{g_1}{A} = \frac{p_1 g}{A} = \frac{1.133 \times 9.8}{338.99} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2) = 32.75 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$$

(2) 若导线的自重比载为 $35 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ ，请计算在设计最大覆冰时导线的垂直比载为下列哪组数值？

- (A) $37.8 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (B) $55.1 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$
(C) $62.7 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (D) $58.1 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$

答案：[C]

解答过程：由《电力工程高压送电线路设计规程》（第二版）第 3-2 节（电线的荷载和比载）表 3-2-3 可得

1) 导线冰重比载：

$$\begin{aligned} \gamma_2 &= 9.80665 \times 0.9\pi \frac{\delta(\delta + d)}{A} \times 10^{-3} \\ &= 9.80665 \times 0.9 \times 3.14159 \times \frac{10 \times (10 + 23.94)}{338.99} \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2) \\ &= 27.73 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2) \end{aligned}$$

2) 导线自重比载为 $35 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ ，故覆冰时导线的垂直比载为

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2 = (35 \times 10^{-3} + 27.75 \times 10^{-3}) \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2) = 62.75 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$$

(3) 若大风时的垂直比载为 $40 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ ，水平比载为 $30 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ ，请计算大风时的综合比载为下列哪组数值？

- (A) $70 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (B) $60 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$
(C) $50 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (D) $65 \times 10^{-3} \text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$

答案：[C]

解答过程：由《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）表 3-2-3 可得大风时的综合荷载为

$$\sqrt{30^2 + 40^2} \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2) = 50 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$$

(4) 若大风时的垂直比载为 $30 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ ，水平比载为 $20 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ ，请计算大风时导线的风偏角应为下列哪项数值？

- (A) 33.7° (B) 56.3°
(C) 41.8° (D) 25.8°

答案：[A]

解答过程：导线的受力示意图如图 14-3 所示。
则风偏角

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\gamma_4}{\gamma_1}\right) = \arctan\left(\frac{20 \times 10^{-3}}{30 \times 10^{-3}}\right) = 33.69^\circ$$

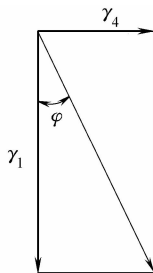


图 14-3 导线的受力示意图

题 13：某交流 220kV 架空送电线路架设双地线，铁塔采用酒杯塔，导线为 LGJ-400/65（直径 $d = 28\text{mm}$ ），线间 $d_{12} = d_{23} = 7.0\text{m}$ 。（2008）

(1) 若档距按 600m 考虑，请计算在气温为 15°C ，无风情况下档距中央导地线间的最小安全距离为下列哪项值（按经验公式计算）？

- (A) 7.2m (B) 8.7m (C) 8.2m (D) 7.0m

答案：[C]

解答过程：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 7.0.15 条，一般档距的档距中央导线与地线间距离，应由式（7.0.15）校验（计算条件为气温 15°C ，无风、无冰）：

$$S \geq 0.012L + 1 = (0.012 \times 600 + 1) \text{ m} = 8.2 \text{ m}$$

(2) 若该线路耐雷水平要求为 80kA，当仅按线路耐雷水平要求考虑时，请计算在气温为 15°C ，无风情况下档距中央导、地线间的最小安全距离为何值？

- (A) 6m (B) 8m (C) 7m (D) 9m

答案：[B]

解答过程：《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T 620—1997）附录 C13 规定，线路档距中央导线与避雷线间的距离按雷击档距中央避雷线时不致击穿导线与避雷线间的间隙来确定。当仅按线路耐雷水平要求考虑时，导线与避雷线间的距离可按式（C26）计算如下：

$$S = 0.1I = 0.1 \times 80 \text{ m} = 8 \text{ m}$$

式中， I 为耐雷水平。

(3) 若档距按 600m 考虑，悬垂绝缘子串长为 2.5m，导线最大弧垂为 25m，请计算此时要求的最小线间距离为下列何值？

- (A) 6.25m (B) 5.25m (C) 8.2m (D) 7.0m

答案：[A]

解答过程：根据《110kV～750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 8.0.1 条第一款规定，对 1000m 以下档距，水平线间距离宜按下式计算：

$$D = k_i L_k + \frac{U}{110} + 0.65\sqrt{f_c} \quad (8.0.1-1)$$

表 8.0.1-1 k_i 系数

悬垂绝缘子串型式	I - I 型	I - V 型	V - V 型
k_i	0.4	0.4	0

式中 k_i ——悬垂绝缘子串系数，应符合表 8.0.1-1 规定的数值；

D ——导线水平线间距离（m）；

L_k ——悬垂绝缘子串长度（m）；

U ——系统标称电压（kV）；

f_c ——导线最大弧垂（m）。

注：一般情况下，使用悬垂绝缘子串的杆塔，其水平线间距离与档距的关系，可按本规范附录 D 的规定取值。

由表 8.0.1-1 和公式（8.0.1），导线间距离应按下列要求并结合实际经验确定，对于 1000m 以下的档距，水平线间距离宜按下式确定：

$$D = k_i L_k + \frac{U}{110} + 0.65\sqrt{f_c} = \left(0.4 \times 2.5 + \frac{220}{110} + 0.65\sqrt{25}\right) \text{m} = 6.25 \text{m}$$

分析：本题若根据《110kV～500kV 架空送电线路设计技术规程》（DL/T 5092—1999）第 10.0.1 条：导线间距离应按下列要求并结合实际经验确定，对于 1000m 以下的档距，水平线间距离宜按下式确定：

$$D = 0.4L_k + \frac{U}{110} + 0.65\sqrt{f_c} = \left(0.4 \times 2.5 + \frac{220}{110} + 0.65\sqrt{25}\right) \text{m} = 6.25 \text{m}$$

可见新规范对悬垂绝缘子的型式做了规定，由原来的 0.4 改为了悬垂绝缘子系数 k_i 。

(4) 若杆塔上地线距导线的垂直距离为 4m，则两地线间的距离不应超过多少米？

- (A) 10m (B) 15m (C) 20m (D) 25m

答案：[C]

解答过程：根据《110kV～750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 7.0.15，杆塔上两根地线之间的距离，不应超过地线与导线垂直距离的 5 倍，即 $4\text{m} \times 5 = 20\text{m}$ 。

(5) 说明在高土壤电阻率地区，为提高线路雷击塔顶时的耐雷水平，应采用下列哪项有效措施？

- (A) 减小地线对边相线的保护角 (B) 降低杆塔接地电阻
(C) 增加导线绝缘子串的绝缘子片数 (D) 避雷线对杆塔绝缘

答案：[C]

► 解答过程：本题和题 5 的第（5）小题解答过程一样。

题 14：有数基 220kV 单导线按 LGJ-300/40 设计的铁塔，导线的安全系数为 2.5，想将该塔用于新设计的 220kV 送电线路，采用的气象条件与本工程相同，本工程中导线采用单导线 LGJ-400/50，地线不变，导线参数见表 14-5。（2008）

表 14-5 导线参数

型 号	最大风压/(N/m)	单位重量/(N/m)	覆冰时总重/(N/m)	破坏拉力/N
LGJ-300/40	10.895	11.11	20.522	87 609
LGJ-400/50	12.575	14.82	25.253	117 230

(1) 按 LGJ-300/40 设计的直线铁塔（不带转角），水平档距为 600m，用于本工程 LGJ-400/50 导线时，水平档距应取以下哪项数值（不计地线影响）？

- (A) 450m (B) 480m (C) 520m (D) 500m

► 答案：[C]

► 解答过程：按最大风压工况下受力相同选择导线的水平档距：

$$600\text{m} \times 10.895 = x \times 12.575$$

$$\Rightarrow x = 519.8\text{m}$$

(2) 按 LGJ-300/40 设计的直线铁塔（不带转角），覆冰时的垂直档距为 1200m，用于本工程 LGJ-400/50 导线时，若不计同时风的影响，垂直档距应取以下哪项数值？

- (A) 910m (B) 975m (C) 897m (D) 1050m

► 答案：[B]

► 解答过程：按覆冰时所受力相等（不计风压的作用）选择垂直档距。

$$1200\text{m} \times 20.522 = x \times 25.253$$

$$\Rightarrow x = 975.2\text{m}$$

(3) 计算 LGJ-400/50（导线截面 $S = 451.55\text{mm}^2$ ）在最大风时导线的综合比载为以下哪项数值？

- (A) $43.04 \times 10^{-3}\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (B) $34.5 \times 10^{-3}\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$
 (C) $45.25 \times 10^{-3}\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$ (D) $38.22 \times 10^{-3}\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$

► 答案：[A]

► 解答过程：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）表 3.2.3，覆冰时的综合比载为

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2} = \sqrt{12.575^2 + 14.82^2}/451.55\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2) = 43.04 \times 10^{-3}\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$$

(4) 本工程中若转角塔的水平档距不变，且最大风时 LGJ-400/50 导线与 LGJ-300/40 导线的张力相同，按 LGJ-300/40 设计的 30° 转角塔用于 LGJ-400/50 导线时，指出下列说法中哪个正确，并说明理由。

- (A) 最大允许角等于 30°

- (B) 最大允许转角大于 30°
 (C) 最大允许转角小于 30°
 (D) 按 LGJ-300/40 设计的 30° 转角塔不能用于 LGJ-400/50 导线

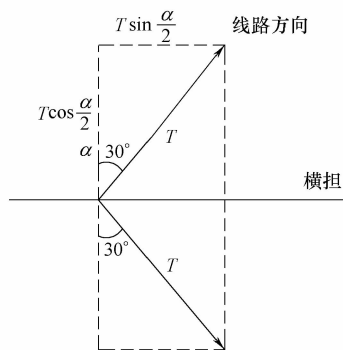
答案：[C]

解答过程：导线横担的受力示意图如图 14-4 所示。

由题意知，最大风时 LGJ-400/50 导线与 LGJ-300/40 导线的张力相同，按横担所受的水平张力相等计算如下：

$$\sqrt{(P_4 l_h)^2 + \left(2T \sin \frac{\alpha}{2}\right)^2} = \sqrt{(P'_4 l'_h)^2 + \left(2T' \sin \frac{\alpha'}{2}\right)^2}$$

因为 $P_4 < P'_4$ ， $T = T'$ ， $l_h = l'_h$ ，故 $\alpha' < \alpha = 30^\circ$ ，故本题选 C 为正确答案。



其中 $\alpha=30^\circ$ 为线路转角

图 14-4 导线横担的受力示意图

题 15：某架空送电线路采用单导线，导线的最大垂直荷载为 25.5N/m ，导线的最大使用张力为 36900N ，导线的自重荷载为 14.81N/m ，导线的最大风时风荷载为 12.57N/m 。（2008）

(1) 若要求耐张串采用双联，请确定本工程采用下列哪种型号的绝缘子最合适？

- (A) XP-70 (B) XP-100 (C) XP-120 (D) XP-160

答案：[A]

解答过程：1) 已知导线的最大使用张力为 36900N ，单导线。根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 6.0.1 条及表 6.0.1 可得盘形绝缘子在最大使用荷载的情况下的安全系数为 2.7，则盘形绝缘子的额定机械破坏荷载为

$$T_R = K_1 T = 2.7 \times 36.9\text{kN} = 99.63\text{kN}$$

2) 取双联 XP-70， $70 \times 2\text{kN} = 140\text{kN} > 99.63\text{kN}$ 。

3) 根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 6.0.1 条，双联及多联绝缘子串应验算断一联后的机械强度，其荷载及安全系数按断联情况考虑。按表 6.0.1 断联情况下盘形绝缘子的安全系数为 1.5，即 $\frac{T_R}{T} = \frac{70}{36.9} = 1.89 > 1.5$ ，故在断联的情况下也能满足导线机械强度的要求。

(2) 直线塔上的最大垂直档距为 $L_v = 1200\text{m}$ ，请确定本工程单联悬垂串应采用下列哪种型号的绝缘子？

- (A) XP-70 (B) XP-100 (C) XP-120 (D) XP-160

答案：[B]

解答过程：1) 根据垂直档距，先算出垂直荷载为

$$1200 \times 25.5\text{N} = 30600\text{N} = 30.6\text{kN}。$$

2) 根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 6.0.1 条及表

6.0.1, 在最大使用荷载情况下盘形绝缘子的安全系数取 2.7, 故有该盘型绝缘子最大使用荷载为 $2.7 \times 30.6 \text{ kN} = 82.6 \text{ kN}$, 因此可选型号为 XP-100 的绝缘子。

(3) 某 220kV 线路悬垂绝缘子串组装型式见表 14-6, 计算允许荷载应为下列哪项数值。
注: 线夹强度为 59kN。

表 14-6 某 220kV 线路悬垂绝缘子串组装型式

编号	名称	型号	每串数量/个	每个质量/kg	共计质量/kg
1	U 形挂板	UB-70	1	0.75	0.75
2	球头挂环	QP-70	1	0.25	0.25
3	绝缘子	XP-70	13	4.7	61.1
4	悬垂线夹	XGU-TA	1	5.7	5.7
5	铝包带				0.1

(A) 26.8kN (B) 23.6kN (C) 25.93kN (D) 28.01kN

► 答案: [B]

► 解答过程: 根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 式 (8.0.1-1) 第 6.0.1 条可知, 盘形绝缘子的安全系数取 2.7, 故允许荷载为

$$70/2.7 \text{ kN} = 25.93 \text{ kN}$$

又根据第 6.0.1-1 条可知, 在最大使用荷载情况下金具强度的安全系数不应小于 2.5。故金具的允许荷载为

$$59/2.5 \text{ kN} = 23.6 \text{ kN}$$

故此悬垂绝缘子强度受线夹强度控制。

► 分析: 本题由表 14-6 可知绝缘子的型号是 XP-70, 即所对应的额定机械破坏荷载为 70kN。

(4) 直线塔所在耐张段在最高气温下导线最低点张力为 26.87kN, 当一侧垂直档距为 $L_v = 581\text{m}$, 请计算该侧的导线悬垂角应为下列哪项数值?

(A) 19.23° (B) 17.76°
(C) 15.20° (D) 18.23°

► 答案: [B]

► 解答过程: 导线悬垂角示意图如图 14-5 所示。

根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版) 式 (8-2-10) 可知

$$\theta_{1,2} = \arctan \left(\frac{\gamma_c l_{xvc}}{\sigma_c} \right) = \arctan \left(\frac{14.81/s \times 581}{26\,870/s} \right) = 17.76^\circ$$

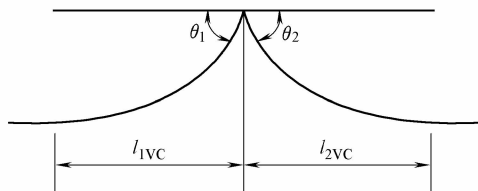


图 14-5 导线悬垂角示意图

题 16: 某 10kV 架空配电线路设计采用钢筋混凝土电杆、铁横担、钢芯铝绞线, 直线杆采用针式绝缘子, 耐张杆采用悬式绝缘子组成的绝缘子串, 请解答下列线路导线力学计算中的几个问题。(2008)

(1) 假定某杆塔两侧档距分别为 90m 和 110m，与其对应的高差角分别为 15° 和 20° ，请计算该杆塔的水平档距与下面哪个值最接近？

- (A) 95m (B) 100m (C) 105m (D) 110m

答案：[C]

解答过程：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）式（3-3-10）有

$$l_h = \frac{\frac{l_1}{\cos\beta_1} + \frac{l_2}{\cos\beta_2}}{2} = \frac{\frac{90}{0.9659} + \frac{110}{0.9397}}{2} = \frac{93.17 + 117.06}{2} \text{m} \approx 105 \text{m}$$

(2) 一般情况下导线弧垂最低点的应力不应超过破坏应力的 40%，当导线弧垂最低点应力为破坏应力的 40% 时，说明导线悬挂点的最大应力可为下列哪项数值？（以破坏应力为基准）

- (A) 34% (B) 38% (C) 44% (D) 48%

答案：[C]

解答过程：《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 5.0.7。

5.0.7 导、地线在弧垂最低点的设计安全系数不应小于 2.5，悬挂点的设计安全系数不应小于 2.25。地线的设计安全系数不应小于导线的设计安全系数。

(3) 假定导线的破坏应力为 260.29N/mm^2 ，计算该导线最大使用应力应为下列哪项数值？

- (A) 65.07N/mm^2 (B) 74.37N/mm^2 (C) 86.76N/mm^2 (D) 104.12N/mm^2

答案：[D]

解答过程：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 5.0.7 条可知，导、地线在弧垂最低点的设计安全系数不应小于 2.5，悬挂点的设计安全系数不应小于 2.25。故本题最大使用应力应该是采用悬挂点应力。由式（5.0.8）有

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S} \leq \frac{T_p}{SK_c} = \frac{\sigma S}{SK_c} = \frac{\sigma}{K_c} = \frac{260.29}{2.25} \text{N/mm}^2 = 115.69 \text{N/mm}^2$$

分析：若取安全系数为 2.5，则计算结果为 $\sigma_{\max} = \frac{260.29}{2.5} \text{N/mm}^2 = 104.116 \text{N/mm}^2$ ，答案也为 D。

题 17：某企业变电站拟新建一条 35kV 架空电源线路，采用钢筋混凝土电杆、铁横担、钢芯铝绞线。请回答下列问题。

(1) 在架空电力线力学计算中，下列关于导线比载的表述，哪一项是正确的？

- (A) 导线上每米长度的荷载折算到单位截面上的数值
(B) 导线上每米长度的荷载
(C) 导线单位截面上的荷载
(D) 长度为代表档距的导线上的荷载折算到单位截面上的数值

► 答案: [A]

► 解答过程: 比载的单位为 $\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$, 指单位长度、单位面积线路上承受的力。

(2) 已知该架空电力线路设计气象条件和导线的物理参数如下:

导线单位长度质量 $P_1 = 0.6 \text{ kg/m}$, 导线截面 $A = 170 \text{ mm}^2$, 导线直径 $d = 17 \text{ mm}$, 覆冰厚度 $b = 20 \text{ mm}$, 重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, 请计算导线的自重加冰重的比载 γ_3 与下列哪项最接近? [单位为 $\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$]

(A) 128×10^{-3} (B) 150×10^{-3} (C) 6000×10^{-3} (D) 20560×10^{-3}

► 答案: [B]

► 解答过程: 由《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)表 3-2-3 有

$$\begin{aligned}\gamma_3 &= \gamma_1 + \gamma_2 = \frac{P_1}{A}g + 0.9\pi \frac{b(b+d)}{A}g \times 10^{-3} \\ &= \frac{0.6}{170} \times 9.8 \text{ m} \cdot \text{mm}^2 + 0.9\pi \frac{20 \times (20+17)}{170} \times 9.8 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{mm}^2 \\ &= 155 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)\end{aligned}$$

(3) 已知某杆塔相邻两档等高悬挂, 档距分别为 120 m 和 100 m , 电线截面 $A = 170 \text{ mm}^2$, 出现灾害性天气时的比载 $= 100 \times 10^{-3} \text{ N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$, 请计算此时一根导线施加在杆塔上的水平荷载最接近下列哪项数值?

(A) 500 N (B) 1000 N (C) 1500 N (D) 2000 N

► 答案: [D]

► 解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)式 (3-3-9) 有

$$l_H = \frac{l_1 + l_2}{2} = \frac{120 + 100}{2} \text{ m} = 110 \text{ m}$$

根据水平档距的物理意义, 施加在杆塔上的水平荷载为

$$F_n = \gamma l_H A = 100 \times 10^{-3} \times 110 \times 170 \text{ N} = 1870 \text{ N}$$

题 18: 某单回路 220 kV 架空送电线路, 设计覆冰厚度为 10 mm , 某直线塔的最大设计档距为 800 m , 使用的悬垂绝缘子串 (I 串) 长度为 2.5 m , 地线串长度为 0.5 m 。

(提示: $K = \frac{\gamma}{8\sigma}$, γ 为导线的比载, σ 为导线的应力)

(1) 根据该线路的导线及气象条件计算出的 K 值如下, 杆塔定位设计中控制对地距离的气象条件应为下列哪个工况?

(A) 高温 $7.65 \times 10^{-5} \text{ (L/m)}$ (B) 覆冰 $7.475 \times 10^{-5} \text{ (L/m)}$
(C) 大风 $7.0 \times 10^{-5} \text{ (L/m)}$ (D) 验冰 $8.0 \times 10^{-5} \text{ (L/m)}$

► 答案: [D]

► 解答过程: 根据《电力工程高压送电线路设计手册》(第二版)表 3-3-1, 对平抛物线公式, 最大弧垂公式为

$$f_m = \frac{\gamma l^2}{8\sigma_0} = Kl^2$$

K 值越大，则弧垂越大，因此应该选 K 值大的作为控制条件。

(2) 若最大弧垂 K 值为 8.0×10^{-5} (l/m)，相导线按水平排列，则相导线最小水平线间距离为下列哪项数值？

- (A) 9.08m (B) 7.65m (C) 6.08m (D) 3.23m

答案：[B]

解答过程：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 式 (8.0.1-1) 有

$$\begin{aligned} D &= k_i L_K + \frac{U}{110} + 0.65\sqrt{f_c} = 0.4L_K + \frac{U}{110} + 0.65\sqrt{Kl^2} \\ &= \left(0.4 \times 2.5 + \frac{220}{110} + 0.65 \times \sqrt{8 \times 10^{-5} \times 800}\right) \text{m} = 7.65 \text{m} \end{aligned}$$

分析：本题应用到了上一题的结论 $f_m = \frac{\gamma l^2}{8\sigma_0} = Kl^2$ 。

(3) 若最大弧垂 K 为 8.0×10^{-5} (l/m)，塔头的猫头塔，中相比边相高 4m，边相对称排列，两边相间距为 12m，为满足导线的线间距离，该塔允许的最大档距为下列哪项数值？

- (A) 516m (B) 722m (C) 724m (D) 865m

答案：[D]

解答过程：显然，本题的导线应该是三角形排列。根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 式 (8.0.1-2) 有

$$D_x = \sqrt{D_p^2 + (4/3 D_z)^2} = \sqrt{6^2 + \left(\frac{4}{3} \times 4\right)^2} \text{m} = 8.03 \text{m}$$

代入式 (8.0.1-1) 有

$$\begin{aligned} D_x &= k_i L_K + \frac{U}{110} + 0.65\sqrt{f_c} = 0.4L_K + \frac{U}{110} + 0.65\sqrt{Kl^2} \\ &= 0.4 \times 2.5 \text{m} + \frac{220}{110} \text{m} + 0.65 \times \sqrt{8 \times 10^{-5} \times l} = 8.03 \text{m} \\ &\Rightarrow l = 865 \text{m} \end{aligned}$$

分析： D_x 为导线三角形排列的等效水平线间距离。

(4) 地线和导线间最小水平偏移为下列哪项数值？

- (A) 0.5m (B) 0.7m (C) 1.0m (D) 1.5m

答案：[C]

解答过程：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 表 8.0.2。

表 8.0.2 上下层相邻导线间或地线与相邻导线间的最小水平平移 m

标称电压 (kV)	110	220	330	500	750
设计冰厚 10 (mm)	0.5	1.0	1.5	1.75	2.0

注：无冰区可不考虑水平偏移。设计冰厚 5mm 地区，上下层相邻导线间或地线与相邻到相间的水平偏移，可根据运行经验参照表 8.0.2 适当减少。

分析：注意本题题干给出了 10mm 冰厚的条件。

(5) 若导线为水平排列，地线与导线间的水平偏移为 1.5m，从张力曲线知道 15℃、无风时档距中央导地线的弧垂为 5m，计算地线串挂点应比导线串挂点至少高出下列哪项数值？

- (A) 2.993m (B) 3.493m (C) 3.600m (D) 6.121m

答案：[B]

解答过程：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 式 (7.0.15)，一般档距中央，导线与地线间的距离，应按下式校验：

$$S \geq 0.012L + 1 = (0.012 \times 800 + 1) \text{ m} = 10.6 \text{ m}$$

设地线串挂点比导线串挂点至少高出 h ，依题意有

$$S = \sqrt{(h + 2.5 + 5 - 0.5)^2 + 1.5^2} \Rightarrow h = 3.493 \text{ m}$$

分析：本题需要一点空间想象力，导地线在档距中央位置示意图如图 14-6 所示，上式中应用了档距中央导地线弧垂差为 5m 的条件。

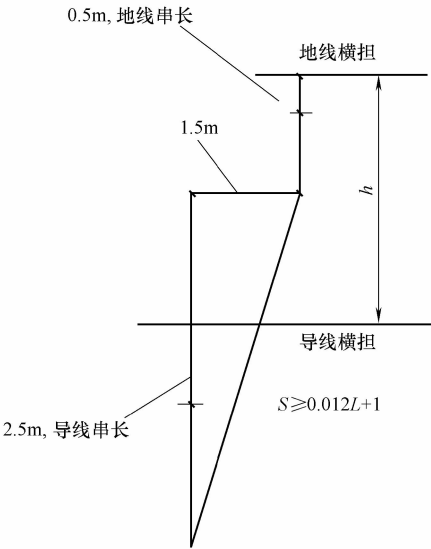


图 14-6 导地线在档距中央位置示意图

题 19：500kV 架空送电线路，导线采用 4 × LGJ-400/35，子导线直径 26.8mm，重量 1.348kg/m。位于土壤电阻率 100Ω · m 地区。(2013)

(1) 某基铁塔全高 60m，位于海拔 79m、0 级污秽区，悬垂单串的绝缘子型号为 XP-16（爬电距离 290mm，有效系数 1.0，结构高度 155mm），用爬电比距法计算确定绝缘子片数时下列哪项是正确的？

- (A) 27 片 (B) 28 片 (C) 29 片 (D) 30 片

答案：[B]

解答过程：根据《110kV～750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）附录 B 表 B.0.1 可得污秽等级为 0 级、500kV 架空送电线路的爬电比距为 $\lambda = 1.6 \text{ cm/kV}$ （按系统标称电压选取）。根据 7.0.5 式有：

$$n \geq \frac{\lambda U}{K_e L_{01}} = \left(\frac{1.6 \times 500}{1 \times 29} \right) \text{片} \approx 27.59 \text{片}, \text{取} 28 \text{片}。$$

分析：本题指明采用的是爬电比距法求绝缘子片数。如果是根据操作过电压和雷电过电压要求的悬垂绝缘子串的片数来求，查表 7.0.2 可得最少的绝缘子片数为 25 片，然后再根据第 7.0.3 条进行塔高修正，可得增加的绝缘子片数为 $\frac{60-40}{10} \times \frac{146}{155} \approx 2$ 片，由此可知操作过电压和雷击过电压要求的最少绝缘子片数为 27 片。按爬电比距法算出来的结果是 28 片，可见爬电比距法起控制作用。

(2) 杆塔水平接地装置的工频接地电阻可利用下式计算，水平接地极形状为十字形，水平接地极每极 10m，采用直径为 $\phi 10 \text{ mm}$ 的圆钢，埋深 0.6m，土壤电阻率 $100 \Omega \cdot \text{m}$ ，（不考虑腐蚀时，水平接地极的形状系数 $A = 0.89$ ）

- (A) 3.97 Ω (B) 5.21 Ω (C) 5.32 Ω (D) 5.45 Ω

答案：[C]

解答过程：根据《交流电气装置的接地设计规范》（GB/T 50065—2011）第 A.0.2 及式 A.0.2 有：

$$R_h = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{hd} + A \right) = \frac{100}{2\pi \times 4 \times 10} \left(\ln \frac{(4 \times 10)^2}{0.6 \times 0.01} + 0.89 \right) \Omega \approx 5.32 \Omega$$

(3) 若绝缘子串雷电冲击放电电压为 1280kV，相导线电抗为 $0.423 \Omega/\text{km}$ ，电纳为 $2.68 \times 10^{-6} (\Omega \cdot \text{km})^{-1}$ ，计算在雷击导线时，其耐雷水平应为下列哪项数值？

- (A) 70.48kA (B) 50.12kA (C) 15.26kA (D) 12.89kA

答案：[D]

解答过程：

解法 1：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）式（2-7-39）有

$$I_2 = \frac{4U_{50\%}}{Z} = \frac{4U_{50\%}}{\sqrt{X_1/b_1}} = \frac{4 \times 1280}{\sqrt{0.423/2.68 \times 10^{-6}}} \text{kA} = 12.89 \text{kA}$$

解法 2：根据《交流电气装置的过电压保护与绝缘配合》（DL/T 620—1997）式（C23）有

$$I_2 = \frac{U_{50\%}}{100} = \frac{1280}{100} \text{kA} = 12.8 \text{kA}$$

► 分析：本题在 2011 年的题目中出现过一次，可以参照来解答。《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）与《交流电气装置的过电压保护与绝缘配合》（DL/T 620 - 1997）对于耐雷水平的计算存在差异，后者直接给出了公式，计算公式表明雷击耐雷水平与导线波阻抗没关系。但我们倾向于解法 1 的结果，也许这是出题人设的一个陷阱。本题若按后者解答，得到的答案是 12.8kA 而非 12.89kA，而并没有 12.8kA 的答案，也说明我们的解答是正确的。

(4) 海拔不超过 1000m 时，雷电和操作要求的绝缘子片数为 25 片，请计算海拔 3000m 处，悬垂绝缘子结构高度为 170mm 时，需选用多少片？（特征系数取 0.65）

- (A) 25 片 (B) 27 片 (C) 29 片 (D) 30 片

► 答案：[B]

► 依据：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）表 7.0.2，高海 1000m 以下，操作过电压和雷电过电压要求的绝缘子单片高度应为 155mm（片数为 25 片），而本题要求的是高度为 170mm 绝缘子片数，为此本题应该先按线性比例算出单片高度为 170mm 的悬垂绝缘子在海拔 1000m 以下需要几片，计算如下

$$n = n \times \frac{155}{170} = 25 \times \frac{177}{155} \text{片} \approx 22.8 \text{片}, \text{取} 23 \text{片}。$$

根据第 7.0.8 式有：

$$n_H = n e^{0.1215 m_1 (H - 1000)/1000} = 23 e^{0.125 \times 0.65 \times (3000 - 1000)/1000} \text{片} \approx 27 \text{片}$$

► 分析：由附录 C 可知特征系数 m_1 为 0.65 的绝缘子的单片高度为 170mm。如果在第一步不取整，直接用 22.8 带入第二步，则有

$n_H = n e^{0.1215 m_1 (H - 1000)/1000} = 22.8 \times e^{0.125 \times 0.65 \times (3000 - 1000)/1000} \text{片} \approx 26.82 \text{片}$ ，取 27 片，答案也为 B。

如果先进行海拔修正，再按线性折算，计算过程如下

$$n_H = n e^{0.1215 m_1 (H - 1000)/1000} = 25 \times e^{0.125 \times 0.65 \times (3000 - 1000)/1000} \text{片} \approx 29.4 \text{片}。$$

$$n' = n_h \times \frac{155}{170} = 29.4 \times \frac{155}{170} \text{片} \approx 26.8 \text{片}，\text{取} 27 \text{片}。但从理论上，特征系数与单片绝缘$$

子的高度有关，特征系数 m_1 为 0.65 对应的绝缘子高度为 170mm，而非 155mm，因此还是应该先线性折算再海拔修正。

(5) 若基本风速折算到导线平均高度处的风速为 28m/s，操作过电压下风速应取下列哪项数值？

- (A) 10 m/s (B) 14 m/s (C) 15 m/s (D) 28 m/s

► 答案：[C]

► 解答过程：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 4.0.13 条，“操作过电压工况的气温可采用年平均气温，风速宜取基本风速折算到导线平均高度处的风速的 50%，但不宜低于 15m/s，且应无冰”。本题中，若基本风速折算到导线平均高度处的风速为 28m/s，取 50% 为 14m/s，已经小于 15m/s，故取 15m/s。

题 20: 某单回路 500kV 架空送电线路，位于海拔 500m 以下的平原地区，大地电阻率平均为 $200\Omega \cdot \text{m}$ ，线路全长 155km，三相导线 a, b, c 为正三角排列，线间距离为 7m，导线采用六分裂 LGJ-500/35 钢芯铝绞线，各子导线按正六边形布置，子导线直径为 30mm，分裂间距为 400mm，子导线的铝截面为 497.01mm^2 ，综合截面为 531.37mm^2 ，线路的最高电压为 550kV。全线采用双 OPGW-120。(2013)

(1) 计算该线路相导线的有效半径 R_e 应为下列哪项数值？

- (A) 0.312m (B) 0.400m (C) 0.336m (D) 0.301m

答案：[D]

解答过程：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）表 2-1-1，钢芯铝绞线的有效半径 r_e 为 $0.81r$ ，带入公式 2-1-8 可得

$$R_e = (nr_e A^{n-1})^{\frac{1}{n}} = 1.349(r_e S^5)^{\frac{1}{6}} = 1.349(0.81S^5)^{\frac{1}{6}} = 1.349 \times (0.81 \times 0.015 \times 0.4^5)^{\frac{1}{6}} \text{m} \approx 0.301\text{m}$$

分析：如果按公式 2-1-4，取钢芯铝绞线的有效半径 r_e 为 $0.779r$ ，计算如下

$$R_e = (nr_e A^{n-1})^{\frac{1}{n}} = 1.349(r_e S^5)^{\frac{1}{6}} = 1.349(0.779S^5)^{\frac{1}{6}} = 1.349 \times (0.779 \times 0.015 \times 0.4^5)^{\frac{1}{6}} \text{m} \approx 0.299\text{m}$$

算出来的答案也应选 D，但本质上这种解答是不正确的。

(2) 设相分裂导线半径为 0.4m，有效半径为 0.3m，计算本线路的正序电抗 X_1 应为下列哪项数值？

- (A) 0.198 (Ω/km) (B) 0.213 (Ω/km)
(C) 0.180 (Ω/km) (D) 0.356 (Ω/km)

答案：[A]

解答过程：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）公式 2-1-6 可得

$$X_1 = 0.0029 \lg \frac{d_m}{R_e} = 0.0029 \times 50 \times \lg \frac{7}{0.3} \Omega/\text{km} \approx 0.198 \Omega/\text{km}$$

(3) 设相分裂导线半径为 0.4m，有效半径为 0.3m，子导线交流电阻 $R = 0.06\Omega/\text{km}$ ，计算该线路“导线-地回路”的自阻抗 Z_m 应为下列哪项数值？

- (A) $0.11 + j0.217$ (Ω/km) (B) $0.06 + j0.652$ (Ω/km)
(C) $0.06 + j0.529$ (Ω/km) (D) $0.06 + j0.511$ (Ω/km)

答案：[C]

解答过程：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）公式 2-8-1、公式 2-8-3 有：

$$D_0 = 660 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = 660 \times \sqrt{\frac{200}{50}} \text{m} = 1320\text{m}$$

$$\begin{aligned} Z_m &= \left(R + 0.05 + j0.145 \lg \frac{D_0}{r_e} \right) \Omega/\text{km} \\ &= \left(\frac{0.06}{6} + 0.05 + j0.145 \lg \frac{1320}{0.3} \right) \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

$$\approx (0.06 + j0.528) \Omega/\text{km}$$

(4) 设相分裂导线的等价半径为 0.35m ，有效半径为 0.3m ，计算线路的正序电纳 b_1 应为下列哪项数值？

- (A) $5.826 \times 10^{-6} \text{ (S/km)}$ (B) $5.409 \times 10^{-6} \text{ (S/km)}$
(C) $5.541 \times 10^{-6} \text{ (S/km)}$ (D) $5.034 \times 10^{-6} \text{ (S/km)}$

答案：[A]

解答过程：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）公式 2-1-32 可得单

$$\text{回路正序电容为 } b_{c1} = \omega C_1 = \frac{7.58 \times 10^{-6}}{\lg \frac{d_m}{R_m}} = \frac{7.58 \times 10^{-6}}{\lg \frac{7}{0.35}} \text{ S} \approx 5.826 \times 10^{-6} \text{ S/km}$$

其中， d_m 为相导线间的几何均距，根据式 (2-1-3) 有

$$d_m = \sqrt[3]{d_{ab} d_{bc} d_{ca}} = \sqrt[3]{7 \times 7 \times 7} \text{ m} = 7 \text{ m}$$

R_m 为相分裂导线的等价半径，或称为分裂导线自几何均距，依题意取 0.35m 。

(5) 假设线路的正序电抗为 $0.5 \Omega/\text{km}$ ，正序电纳为 $5.0 \times 10^{-6} \text{ S/km}$ ，计算线路的自然功率 P_n 应为下列哪项数值？

- (A) 956.7 MW (B) 790.6 MW
(C) 1321.3 MW (D) 1045.8 MW

答案：[B]

解答过程：根据《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）式 (2-1-41) 可得

$$Z_n = \sqrt{\frac{X_1}{b_1}} = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \sqrt{\frac{0.5}{5 \times 10^{-6}}} \Omega \approx 316 \Omega$$

根据公式 2-1-42 可得

$$P_n = P_\lambda = \frac{U^2}{Z_n} = \frac{500^2}{316} \text{ MW} \approx 791 \text{ MW}$$

题 21：某 500kV 架空输电线路工程：导线采用 $4 \times \text{JL/G1A} - 630/45$ ，子导线直径 33.6mm ，导线自重荷载为 20.39N/m ，基本风速 33m/s ，计算覆冰 10mm 。（提示，最高运行电压是额定电压的 1.1 倍）（2013）

(1) 根据以下假定：计算确定若由 XWP-300 绝缘子组成悬垂单串，其片数应为下列哪项数值？

1) 所经地区海拔 500m ，等值盐密为 0.1mg/cm^3 ，按“高压架空线路污秽分级标准”和运行经验确定污秽等级为 C 级，最高运行相电压设计爬电比距按 4.0cm/kV 考虑；

2) XWP-300 绝缘子（公称爬电距离为 550mm ，结构高度为 195mm ），在等值盐密为 0.1mg/cm^3 ，测得的爬电距离有效系数为 0.90 。

- (A) 24 片 (B) 25 片 (C) 26 片 (D) 45 片

答案：[C]

● **解答过程：**根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 7.0.5 条及表 7.0.5。绝缘配合设计可采用爬电比距法，也可采用污耐压法，选择合适的绝缘子型式和片数。当采用爬电比距法时，绝缘子片数应按下式计算：

$$n \geq \frac{\lambda U}{K_e L_{ol}} = \frac{4.0 \times \frac{500}{\sqrt{3}} \times 1.1}{0.9 \times 55} = 25.66, \text{取} 26 \text{片}。$$

● **分析：**若采用满足雷电过电压和操作过电压来计算绝缘子片数，根据表 7.0.2，500kV 取 25 片单片高度为 155mm 的绝缘子，换算成单片高度为 195mm 的绝缘子，计算如下

$$n = 25 \times \frac{155}{195} \text{片} = 19.87 \text{片}，\text{可见本题爬电比距法起控制作用}。$$

(2) 如线路所经地区海拔为 3000m，污秽等级为 C 级，最高运行相电压下设计爬电比距按 4.0cm/kV 考虑。XSP-300 绝缘子（公称爬电距离为 635mm，结构高度为 195mm），规定爬电距离有效系数为 0.90，特征指数 m_1 为 0.31。计算确定若由 XSP-300 绝缘子组成悬垂串，其片数应为下列哪项数值？

- (A) 21 片 (B) 25 片 (C) 27 片 (D) 30 片

● **答案：**[B]

● **解答过程：**1) 根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第 7.0.5 条。绝缘配合设计可采用爬电比距法，也可采用污耐压法，选择合适的绝缘子型式和片数。当采用爬电比距法时，绝缘子片数应按下式计算：

$$n \geq \frac{\lambda U}{K_e L_{ol}} = \frac{4.0 \times \frac{500}{\sqrt{3}} \times 1.1}{0.9 \times 63.5} \approx 22.23, \text{取} 23 \text{片}。$$

2) 根据第 7.0.8 式进行海拔校正，计算如下

$$n_H = n e^{0.1215 m_1 (H - 1000) / 1000} = 23 e^{0.125 \times 0.31 \times (3000 - 1000) / 1000} \text{片} \approx 24.85 \text{片}, \text{取} 25 \text{片}。$$

● **分析：**若采用满足雷电过电压和操作过电压来计算绝缘子片数，根据表 7.0.2，500kV 取 25 片高 155mm 的绝缘子，换算成 195mm 的绝缘子，计算如下：

$$n = 25 \times \frac{155}{195} \text{片} = 19.87 \text{片}，\text{取} 20 \text{片}，\text{再进行海拔修正如下：}$$

$$n_H = n e^{0.1215 m_1 (H - 1000) / 1000} = 20 \times e^{0.125 \times 0.31 \times (3000 - 1000) / 1000} \text{片} \approx 21.6 \text{片}，\text{取} 22 \text{片}，\text{可见本题爬电比距法起控制作用}。$$

(3) 在海拔为 500m 的 D 级污秽区，最高运行相电压下盘型绝缘子（假定爬电距离有效系数为 0.90）设计爬电比距按不小于 5.0cm/kV 考虑，计算复合绝缘子所要求的最小爬电距离应为下列哪项数值？

- (A) 1191cm (B) 1203cm (C) 1400cm (D) 1764cm

● **答案：**[C]

● **解答过程：**根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》（GB 50545—2010）第

7.0.5 条及表 7.0.5。绝缘配合设计可采用爬电比距法,也可采用污耐压法,选择合适的绝缘子型式和片数。当采用爬电比距法时,盘型绝缘子片数应按下式计算:

$$n \geq \frac{\lambda U}{K_e L_{ol}} \Rightarrow n L_{ol} \geq \frac{\lambda U}{K_e} = \frac{5.0 \times \frac{500}{\sqrt{3}} \times 1.1}{0.9} \text{ cm} \approx 1764 \text{ cm}$$

根据第 7.0.7 条,在轻、中污区复合绝缘子的爬电距离不宜小于盘型绝缘子;在重污区其爬电距离不应小于盘型绝缘子最小要求值的 3/4 且不应小于 2.8cm/kV;用于 220kV 及以上输电线路复合绝缘子两端都应加均压环,其有效绝缘长度需满足雷电过电压的要求。故盘型绝缘子的爬距要换算成复合绝缘子的爬距:

$$L = \frac{3}{4} \times 1764 \text{ cm} \approx 1323 \text{ cm}$$

按 $\lambda = 2.8 \text{ cm/kV}$ 计算可得

$$L_1 = 2.8 \text{ cm/kV} \times 500 \text{ kV} = 1400 \text{ cm}$$

分析: 本题要求计算的是复合绝缘子所要求的最小爬距,要注意 λ 不得小于 2.8cm/kV 的限制。

(4) 某基塔全高 100m,位于海拔 500m,污秽等级为 C 级,最高运行相电压下设计爬电比距按 4.0cm/kV 考虑,悬垂串的绝缘子型号为 XWP-210 绝缘子(公称爬电距离为 550mm,结构高度为 170mm),爬电距离有效系数为 0.90,请计算确定绝缘子片数应为下列哪项数值?

- (A) 25 片 (B) 26 片 (C) 28 片 (D) 31 片

答案: [C]

解答过程: 根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 7.0.5 条。

7.0.5 绝缘配合设计可采用爬电比距法,也可采用污耐压法,选择合适的绝缘子型式和片数。当采用爬电比距法时,绝缘子片数应按下式计算:

$$n \geq \frac{\lambda U}{K_e L_{ol}} \quad (7.0.5)$$

先按爬距算出基本绝缘子片数为

$$n \geq \frac{\lambda U}{K_e L_{ol}} = \frac{4.0 \times \frac{500}{\sqrt{3}} \times 1.1}{0.9 \times 55} \approx 25.66, \text{取} 26 \text{ 片}。$$

再按操作过电压和雷电过电压进行片数的校正,查表 7.0.2 可得 25 片为满足操作过电压和雷电过电压所要求的最小片数为 25 片,按塔高进行修正为所需要增加的绝缘子片数为

$$\frac{100 - 40}{10} \times \frac{146}{155} \approx 5.65, \text{取} 6 \text{ 片,共需要} 30.65 \text{ 片高度为} 155 \text{ 的悬垂绝缘子。最后按线性}$$

修正到 170mm,可得绝缘子片数为 $30.65 \times \frac{155}{170} \approx 27.94$ 片,取 28 片。

分析：塔高修正仅针对操作过电压和雷击过电压所要求的绝缘子片数，可见本题操作过电压和雷电过电压选择对绝缘子片数的选择起控制作用。

(5) 计算确定位于海拔 2000m，全高为 90m 铁塔的雷电过电压最小空气间隙应为下列哪项数值？提示：绝缘子串雷电冲击放电电压 $U_{50\%} = 530 \times L + 35$ ，空气间隙雷电冲击放电电压 $U_{50\%} = 552 \times S_0$ 。

- (A) 3.30m (B) 3.63m (C) 3.85m (D) 4.35m

答案：[D]

解答过程：根据《110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545—2010) 第 7.0.9 条，在海拔不超过 1000m 的地区，在相应风偏条件下，带电部分于杆塔构件（包括拉线、脚钉等）的最小间隙，应符合表 7.0.9-1 和 7.0.9-2 的规定。经查表，雷击过电压最小空气间隙为 3.3m。根据条文说明第 7.0.12 条，针对 110kV ~ 500kV 输电线路也可采用以下修正方法：在海拔高度超过 1000m 地区，海拔高度每增高 100m 操作过电压和运行过电压的间隙，应比本规范表 7.0.9 所列数值增大 1%。可得海拔 2000m 的铁塔的雷击过电压最小空气间隙为

$$3.3 \times \left(1 + \frac{2000 - 1000}{100} \times 1\% \right) \text{m} = 3.63 \text{m}$$

根据 7.0.3 条，由于高杆塔而增加绝缘子片数时，雷电过电压最小间隙也应相应增大，塔高为 90m，需要增加绝缘子片数为 $\frac{90 - 40}{10} \times \frac{146}{155} \approx 4.7$ 片，取 5 片。增加后绝缘子片数为 30 片，增加比例为 $\frac{30}{25} = 1.2$ 倍，故经过修正后的雷击过电压最小空气间隙为

$$1.2 \times 3.63 \text{m} \approx 4.36 \text{m}。$$

分析：如果不是 500kV 及以下架空输电线路，而是 750kV，那只有根据第 7.0.12 条及条文说明 7.0.12 条的例题来计算，比较复杂。

第十五章 电力系统规划设计

一、大纲要求 ★★★

- 1) 了解电力系统规划设计的内容和方法；
- 2) 了解电力系统安全稳定运行的基本要求；
- 3) 熟悉无功补偿型式选择及容量配置。

二、高频考点提示 ★★★

本章在整个考试里大概占 20 分，其中专业知识占 10 分左右，案例占 10 分左右。答题依据主要有《电力系统设计手册》、《并联电容器装置设计规范》（GB 50227—2008）、《35kV ~ 220kV 变电站无功补偿装置设计技术规定》（DL/T 5242—2010）、《330kV ~ 750kV 变电站无功补偿装置设计技术规定》（DL/T 5014—2010）、《电力系统设计技术规程》（DL/T 5429—2009）、《电力系统调度自动化设计技术规程》（DL/T 5003—2005）、《地区电网调度自动化设计技术规程》（DL/T 5002—2005）、《电力系统安全稳定导则》（DL/T 755—2001）、《电力系统安全稳定控制技术导则》（DL/T 723—2000）。重点考查电力系统规划设计的一些基本概念，安全稳定运行基本要求、无功补偿型式选择以及容量配置（特别是电容器无功补偿相关内容几乎年年出题）。

三、例题精选 ★★★

1. 单项选择题

(1) 某一市区电网日供电量为 5568 万 kWh，日最大负荷为 290 万 kW，则该电网日负荷率为（ ）。(2012)

- (A) 75% (B) 80% (C) 90% (D) 60%

▶ 答案：[B]

▶ 依据：根据《电力系统设计手册》式（2-8）有

$$\gamma = \frac{P_p}{P_{\max}} = \frac{5568/24}{290} = 0.8 = 80\%$$

▶ 分析：日负荷率 γ 是日平均负荷与日最大负荷的比值。《电力系统设计手册》每年均有考核，但分值不大。

(2) 某变电所的三相 35kV 电容器组采用单星形接线，每相由单台 500kvar 电容器并联组合而成，请选择允许的单组最大组合容量是（ ）。(2012)

- (A) 9000kvar (B) 10500kvar (C) 12000kvar (D) 13500kvar

答案：[B]

依据：依题意，每相由单台 500kvar 电容器并联组合而成，则每相只有一个串段，根据《并联电容器装置设计规范》（GB 50227—2008）第 4.1.2 条第 3 款，每个串联段的电容器并联总容量不应超过 3900kvar，如果每相由 7 台 500kvar 的电容器组成，则满足规范要求。故三相总容量为 $7 \times 500\text{kvar} \times 3 = 10500\text{kvar}$ 。

分析：每个串联段的电容器并联总容量不应超过 3900kvar 在《并联电容器装置设计规范》（GB 50227 - 1995）中并没有，答题时注意以最新的规范为准。如果每相由 8 台 500kvar 的电容器组成，则每相的容量为 4000kvar，超过规范不大于 3900kvar 的要求。

(3) 某城市电网 2009 年用电量为 225 亿 kWh，最大负荷为 3900MW，请问该电网年最大负荷利用小时数和年最大负荷利用率各为多少？(2011)

- (A) 1733h、19.78% (B) 577h、6.6%
(C) 5769h、65.85% (D) 5769h、57.86%

答案：[C]

依据：最大负荷利用小时数为

$$\frac{225 \times 10^8}{3900 \times 10^3} \text{h} = 5769 \text{h}$$

年平均负荷为

$$\frac{225 \times 10^5}{8760} \text{MW} = 2568 \text{MW}$$

最大负荷利用率为

$$\frac{2568}{3900} \times 100\% = 65.85\%$$

(4) 某大型电厂采用四回 500kV 线路并网，其中两回线路长度为 80km，另外两回线路长度为 100km，均采用 $4 \times \text{LGJ-400}$ 导线（充电功率为 1.1Mvar/km）。如在电厂母线上安装高压并联电抗器对线路充电功率进行补偿，则高抗的容量宜选为（ ）。(2011)

- (A) 356Mvar (B) 396Mvar (C) 200Mvar (D) 180Mvar

答案：[D]

依据：解法 1)：《电力系统设计手册》式 (8.3)，变电所或发电厂的电抗器补偿总容量 Q_{kb} 可按式计算：

$$Q_{\text{kb}} = \frac{l}{2} q_c B = \frac{2 \times 80 + 2 \times 100}{2} \times 1.1 \times 0.9 \text{Mvar} = 178.2 \text{Mvar}$$

故选 D 为正确答案。

解法 2)：根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (9-50) 有

$$Q_L = K_1 Q_C = (0.4 \sim 0.8) \times (80 \times 2 + 100 \times 2) \times 1.1 \text{Mvar} = 158.4 \sim 316.8 \text{Mvar}$$

D 答案也在范围内。

分析：《电力工程电气设计手册 电气一次部分》式 (9-50) 下面有个解释，

80% ~ 100% 补偿度是一相或两相开断的谐振区, 应尽量避免采用, 即应该避开 A 和 B 答案所给的值, 故综合以上讨论, D 答案为正确答案。

(5) 电力系统设计时, 电力系统的总备用容量不得低于系统最大发电负荷的 ()。(2008)

- (A) 8% (B) 10% (C) 15% (D) 20%

▶ 答案: [D]

▶ 依据: 《电力系统设计技术规程》(SDJ 161—1985) 第 5.2.2 条规定, 系统的总备用容量不低于系统最大发电负荷的 20%。本题是 2008 年考题, 所以按《电力系统设计技术规程》(SDJ 161—1985) 答题。若按《电力系统设计技术规程》(DL5429—2009) 第 5.2.3 条规定, 系统备用容量可按系统最大发电负荷的 15% ~ 20% 考虑, 低值适用于大系统, 高值适用于小系统, 则 C、D 均为正确答案。

▶ 分析: 根据《电力系统设计技术规程》(DL5429—2009) 第 5.2.3 条规定及电力系统第三章相关规定, 系统的备用容量是指为了保证系统的不间断供电, 并保证在额定频率下运行而设置的装机容量。它包括有负荷备用、事故备用和检修备用容量三部分。其中负荷备用容量是指为担负电力系统一天内瞬时的负荷波动和计划外的负荷增长所需要的发电容量。一般为最大负荷的 2% ~ 5%。事故备用容量是指电力系统中发电设备发生故障时为保证正常供电所需要的发电容量, 一般为最大负荷的 8% ~ 10%。检修备用容量是指在电力系统一年内的低负荷季节, 不能满足全部机组按年计划检修二必须增设的发电容量, 初步计算取值时不应低于 5%。

(6) 电力系统网络设计时, 选择电压等级应根据网络现状和下列多长时间的输电容量、输电距离的发展进行论证?(2008)

- (A) 今后 3 ~ 5 年 (B) 今后 5 ~ 8 年 (C) 今后 8 ~ 10 年 (D) 今后 10 ~ 15 年

▶ 答案: [D]

▶ 依据: 《电力系统设计技术规程》(DL5429—2009) 第 6.2.2 条第 1 款。

6.2.2 选择电压等级的基本要求:

1 选择电压等级应根据电网现状、今后 10 ~ 15 年的输电容量、输电距离等因素进行论证。个方案应既能满足远景发展的需要, 又能适应近期过渡的可能性, 在技术经济指标相差不大的情况下, 应优先推荐电压等级较高的方案, 必要时可考虑初期降压运行过渡。

2 应分析设计水平年内出现更高一级电压的必要性、时间和远景的适应性。

▶ 分析: 根据《电力系统设计技术规程》(SDJ 161—1985) 第 3.2.2 条: “选择电压等级应根据网络现状, 今后 10 ~ 15 年的输电容量, 输电距离的发展进行论证”, 答案也为 D。

(7) 电力系统暂态稳定是指 ()。(2008)

(A) 电力系统受到事故扰动后, 保持稳定运行的能力

(B) 电力系统受到大扰动后, 各同步电动机保持同步运行并过渡到新的或恢复到原来稳态运行方式的能力

(C) 电力系统受到小的或者大的干扰后, 在自动调节和控制装置的作用下, 保持长过程的运行稳定性的能力

(D) 电力系统受到小扰动后, 不发生非周期性失步

► 答案: [B]

► 依据: 《电力系统安全稳定导则》(DL/T 755—2001) 附录 A 的 A2.2 条。

A2.2 暂态稳定

是指电力系统受到大扰动后, 各同步电机保持同步运行并过渡到新的或恢复到原来稳态运行方式的能力。通常指保持第一或第二个振荡周期不失步的功角稳定。

► 分析: 电力系统稳定性的定义为: 给定运行条件下的电力系统, 在受到扰动后, 重新回到运行平衡状态的能力。系统中的多数变量可维持在一定的范围, 使整个系统能稳定运行。根据性质的不同, 电力系统稳定性可分为功角稳定、电压稳定和频率稳定三类。在分析功角稳定时, 还可进一步分为以下三类: 静态稳定、暂态稳定和动态稳定。

1) 电力系统静态稳定是指电力系统受到小干扰后, 不发生非周期性的失步, 自动恢复到初始运行状态的能力。

2) 电力系统暂态稳定指的是电力系统受到大干扰后, 各发电机保持同步运行并过渡到新的或恢复到原来稳定运行状态的能力, 通常指第一或第二摆不失步。

3) 动态稳定是指电力系统受到小的或大的干扰后, 在自动调节和控制装置的作用下, 保持长过程的运行稳定性的能力。持续时间为十秒到几分钟。

可见, A 答案为电力系统稳定性的概念, B 答案为电力系统暂态稳定的概念, C 答案为电力系统动态稳定的概念, D 答案为电力系统动态稳定性的概念。

2. 多项选择题

(1) 下列哪些遥测量信息, 应向省级电力系统调度中心调度自动化系统传递? (2011)

(A) 10MW 热电厂发电机有功功率 (B) 220kV 母线电压

(C) 300MW 火电厂高压起备变无功功率 (D) 水电厂上游水位

► 答案: [B、C、D]

► 依据: 《电力系统调度自动化设计技术规程》(DL/T 5003 - 2005) 第 5.1.2 条。

5.1.2 发电厂、变电站应向有关调度传送下列要测量:

1 单机容量为 100MW 及以上发电厂的发电机、厂用高压变压器和启动备用变压器有功功率和无功功率。

2 发电厂和变电站的变压器各侧有功功率和无功功率。

3 220kV 及以上电压等级的线路有功功率和无功功率。

4 110kV 线路宜测有功功率和电流。个别线路必要时可测有功功率和无功功率。

- 5 母联和分段断路器宜只测电流，必要时测有功功率和无功功率。
- 6 旁路断路器的测量内容与同等级电压线路相同。
- 7 双向传输功率的线路、变压器以及可能转为调相运行的发电机的双向有功功率和无功功率。
- 8 系统频率监视点频率和可能解列运行点的电网频率。
- 9 水电厂上、下游（池）水位。
- 10 220kV 及以上电压等级的各段母线电压。

(2) 当电网中发生下列哪些故障时，采取相应措施后应能保证稳定运行，满足电力系统第二级安全稳定标准？（2011）

- (A) 向城区供电的 500kV 变电所中一台 750MVA 主变故障退出运行
- (B) 220kV 变电所中 110kV 母线三相短路故障
- (C) 某区域电网中一座 $\pm 500\text{kV}$ 换流站双极闭锁
- (D) 某地区一座 $4 \times 300\text{MW}$ 电厂，采用 6 回 220kV 线路并网。当其中一回线路出口处发生三相短路故障时，继电保护装置拒动

答案：[B、C]

依据：根据《电力系统安全稳定导则》（DL/T 755—2001）第 3.2.2 条。

3.2.2 正常运行方式下的电力系统受到下述较严重的故障扰动后，保护、开关及重合闸正确动作，应能保持稳定运行，必要时允许采取切机和切负荷等稳定控制措施。

- a) 单回线永久性故障重合不成功及无故障三相断开不重合；
- b) 任一段母线故障；
- c) 同杆并架双回线的异名两相发生单相接地故障重合不成功，双回线三相同时跳开；
- d) 直流输电线路双极故障。

(3) 电力系统暂态稳定计算应考虑以下哪些因素？（2011）

- (A) 考虑负荷特性
- (B) 在规划阶段，发电机模型可采用暂态电势恒定的模型
- (C) 考虑在电网任一地点发生金属性短路故障
- (D) 继电保护、重合闸和安全自动装置的动作状态和时间，应结合实际情况考虑

答案：[A、B、D]

依据：根据《电力系统安全稳定导则》（DL/T 755—2001）第 4.4.3 条。

4.4.3 暂态稳定计算的条件如下：

- a) 应考虑在最不利地点发生金属性短路故障；
- b) 发电机模型在可能的条件下，应考虑采用暂态电势变化甚至次暂态电势变化的详细模型（在规划阶段允许采用暂态电势恒定的模型）；

- c) 继电保护、重合闸和有关自动装置的动作状态和时间，应结合实际情况考虑；
- d) 考虑负荷特性。

可知 A、B、D 正确。C 答案应改为：应考虑最不利地点发生金属性短路故障。

(4) 电力系统出现大扰动时采取紧急控制，以提高安全稳定水平。紧急控制实现的功能有（ ）。(2008)

- (A) 防止功角暂态稳定破坏、消除失步状态
- (B) 避免切负荷
- (C) 限制频率、电压严重异常
- (D) 限制设备严重过负荷

▶ 答案：[A、C、D]

▶ 依据：《电力系统安全稳定控制技术导则》（DL/T 723—2000）第 6.1 条。

6.1 紧急控制的功能

紧急控制在电力系统出线大扰动时改变系统状态，以提高安全稳定水平，实现下列功能：

- a) 防止功角暂态稳定破坏；
- b) 消除失步状态；
- c) 限制频率严重异常（降低或升高）；
- d) 限制电压严重异常（降低或升高）；
- e) 限制设备严重过负荷等。

(5) 当电力系统失步时，可采取再同步控制，对于功率过剩的电力系统，可选用（ ）。(2008)

- (A) 原动机减功率
- (B) 某些系统解列
- (C) 切除负荷
- (D) 切除发电机

▶ 答案：[A、B、D]

▶ 依据：《电力系统安全稳定控制技术导则》（DL/T 723—2000）第 6.4.4.2 条。

6.4.4.2 为实现再同步，可根据系统具体情况，选择适当控制手段。

对于功率过剩的电力系统，可选用：

- a) 原动机减功率；
- b) 切除发电机；
- c) 某些系统解列。

对于功率不足的电力系统，可选用：

- a) 切除负荷；
- b) 某些系统解列。

分析：C 答案切除负荷是针对功率不足的电力系统。

(6) 进行电力系统电力电量平衡时，应确定总备用容量。系统总备用容量应包括()。
(2008)

- (A) 负荷备用
- (B) 事故备用
- (C) 调峰备用
- (D) 计划检修备用

答案：[A、B、D]

依据：根据《电力系统设计技术规程》(DL5429—2009)第 5.2.3 条。

5.2.3 系统的总设备容量可按系统最大发电负荷的 15% ~ 20% 考虑，低值使用于大系统，高值使用于小系统，并满足下列要求：

- 1 负荷备用为 2% ~ 5%。
- 2 事故备用为 8% ~ 10%，但不小于系统一台最大的单机容量。
- 3 检修备用应按有关规程要求及系统情况确定，初步计算时取值不应低于 5%。

(7) 下列哪些措施可提高电力系统的暂态稳定水平？(2008)

- (A) 采用紧凑型输电线路
- (B) 快速切除故障和应用自动重合闸装置
- (C) 发电机快速强行励磁
- (D) 装设电力系统稳定器 (PSS)

答案：[B、C、D]

依据：《电力系统设计手册》第 367 页。提高电力系统暂态稳定的措施有：1) 快速切除故障和自动重合闸的应用；2) 发电机快速强行励磁；3) 电力系统稳定器 (PSS)；4) 发电机电气制动；5) 切发电机和切负荷；6) 输电线路的强行补偿；7) 快速关气门。

(8) 电力调度中心根据需要可向发电厂、变电站传送下列哪些遥控和遥调命令？(2008)

- (A) 断路器分合
- (B) 有载调压变压器抽头的调节，无功补偿装置的投切
- (C) 火电机组功率调节，水轮发电机的启停和调节
- (D) 线路保护投切

答案：[A、B、C]

依据：《电力系统调度自动化设计技术规程》(DL/T 5003—2005)第 5.1.9 条。

5.1.9 调度中心根据需要可向发电厂、变电站传送下列遥控或遥调命令：

- 1 断路器的分合。
- 2 无功补偿装置的投切。
- 3 发电厂功率调节装置远方投切。
- 4 有载调压变压器抽头的调节。
- 5 水轮发电机的启动/停止和调节。
- 6 火电机组功率调节。

(9) 在电力系统内出现失步时，在满足一定的条件下，对于局部系统，可采用再同步控制，使失步的系统恢复同步运行。对于功率不足的电力系统可选择下列哪些控制手段实现再同步？（2013）

- (A) 切除发电机 (B) 切除负荷
(C) 原动机减功率 (D) 某些系统解列

答案：[B、D]

依据：《电力系统安全稳定控制技术导则》（DL/T 723—2000）第 6.4.4.2 条。

6.4.4.2 为实现再同步，可根据系统具体情况，选择适当的控制手段。

对于功率过剩的电力系统，可选用：

- a) 原动机减功率；
b) 切除发电机；
c) 某些系统解列。

对于功率不足的电力系统，可选用：

- a) 切除负荷；
b) 某些系统解列。

(10) 在 35kV ~ 110kV 变电站站址选择和站区布置时，需要考虑下列哪些因素的影响？（2013）

(A) 变电站应避开火灾、爆炸及其他敏感设施，与爆炸危险气体区域临近的变电站站址选择及其设计应符合现行国家标准《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》GB 50058 的有关规定

(B) 变电站应根据所在区域特点，选择适合的配电装置型式、抗震设计应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定

(C) 城市中心变电站宜选用小型化紧凑型电气设备

(D) 变电站主变压器布置除应运输方便外，并应布置在运行噪音对周边环境影响较小的位置

答案：[A、C、D]

依据：《35 ~ 110kV 变电所设计规范》（GB 50059—2011）第 2.0.1 ~ 2.0.4 条。

2.0.1 变电站站址的选择，应符合现行国家标准《工业企业总平面设计规范》GB 50817 的有关规定，并应负荷下列要求：

- 1 应靠近负荷中心；
- 2 变电站布置应兼顾规划、建设、运行、施工等方面的要求，宜节约用地；
- 3 应于城乡或工矿企业规划相协调，并应便于架空和电缆线路的引入和引出；
- 4 交通运输应方便。
- 5 周围环境宜无明显污秽，空气污秽时，站址宜设在受污染源影响最小处。

6 变电站应避免与邻近设施之间的相互影响,应避开火灾、爆炸及其他敏感设施,与爆炸危险性气体区域邻近的变电站站址选择及其设计符合现行国家标准《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》GB 50058 的有关规定。

7 应具有适宜的地质、地形和地貌条件,站址宜避开选在有重要文物或开采后对变电站有影响的矿藏地点,无法避免时,应征得有关部门的同意。

8 站址标高宜在 50 年一遇高水位上,无法避免时,站区应有可靠的防洪措施或与地区(工矿企业)的防洪标准一致,并应高于内涝水位。

9 变电站主题建筑应与周边环境相协调。

2.0.2 变电站应根据所在区域特点,选择合适的配电装置形式,抗震设计应符合现行国家标准《电力设施抗震设计规范》GB 50260 的有关规定。

2.0.3 城市中心变电站宜选用小型化紧凑型电气设备。

2.0.4 变电站主变压器布置除应运输方便外,并应布置在运行噪声对周边环境影响较小的位置。

(11) 变电所中,用于并联电容器组的串联电抗的过负荷能力最小应能:(2013)

- (A) 在 1.1 倍额定电流下连续运行(谐波含量与制造厂协商)
- (B) 在 1.3 倍额定电流下连续运行(谐波含量与制造厂协商)
- (C) 在 1.3 倍额定电压下连续运行
- (D) 在 1.1 倍额定电压下连续运行

▶ 答案:[B、D]

▶ 依据:《330 ~ 750kV 变电站无功补偿装置设计技术规定》(DL 5014—2010)第 7.5.7 条。

7.5.7 串联电抗器的过负荷能力:

1 应能在 1.1 倍额定电压下连续运行。

2 应能在 1.3 倍额定电流下连续运行,其允许最大谐波电流应根据系统具体情况及电抗器型式与制造厂协商确定。

(12) 下列关于发电厂接入系统的安全稳定表述中,哪些是正确的?(2013)

(A) 电厂送出线路有两回及以上时,任一回路事故停运后,若事故后静态稳定能力小于正常输电容量,应按事故后静态能力输电。否则,应按正常输电容量输电。

(B) 对于火电厂的交流送出线路三相故障,发电厂的直流送出线路单极故障,应不需采取措施保持稳定运行和电厂正常送出。

(C) 对于利用小时数较低的水电站、风电场等电厂送出,应尽量减少出线回路数,确定出线回路数时可不考虑送出线路的“N-1”方式。

(D) 对核电厂送出线路出口应满足发生三相短路不重合时保持稳定运行和电厂正常送出。

答案：[A、C、D]

依据：《电力系统设计技术规程》（DL/T 5429—2009）第 6.3.3 条。

6.3.3 发电厂接入系统的安全稳定标准：

1 电厂送出线路有两回及以上时，任一回路事故停运后，若事故后静稳定能力小于正常输电容量，应按事故后静稳定能力输电。否则，应按正常输电容量输电。

2 对于火电厂的交流送出线路三相故障，发电厂的直流送出线路单极故障，必要时可采取切机或快速发电机组出力的措施。

3 对于利用小时数较低的水电站、风电场等电厂送出，应尽量较少出线回路数，确定出线回路数时可不考虑送出线的“N-1”方式。

4 对核电站送出线路出口应满足发生三相短路不重合时保持稳定运行和电厂正常送出。

3. 案例题

题 1：某地区拟建一座 500kV 变电站，站地位于Ⅲ级污秽区，海拔高度不超过 1000m，年最高温度为 40℃，年最低温度为 -25℃。变电站的 500kV 侧，220kV 侧各自与系统相连。35kV 侧接无功补偿装置。

该站远景规模为：主变压器 4 × 750MVA，500kV 出线 6 回，220kV 出线 14 回，500kV 电抗器两组，35kV 电容器组 8 × 60Mvar，35kV 电抗器 8 × 60Mvar。

本期建设规模为：主变压器 2 × 750MVA，500kV 出线 2 回，220kV 出线 6 回，每组主变压器各接 35kV 电容器组 2 × 60Mvar，35kV 电抗器 2 × 60Mvar。

主变选用 3 × 250MVA 单相自耦无励磁电压变压器。

电压比：(525/√3)/(230/√3 ± 2 × 2.5%)/35kV，

容量比：250MVA/250MVA/66.7MVA

接线组别：YNad11。(2012)

(1) 本期的 2 回 500kV 出线为架空平行双线路，每回长约为 120km，均采用 4 × LGJ 400 导线（充电功率 1.1Mvar/km），在初步设计中为补偿充电功率曾考虑在本站配置 500kV 电抗器作调相调压，运行方式允许两回路公用一组高压并联电抗器。请计算本站所配置的 500kV 并联电抗器最低容量宜为下列哪一种？

- (A) 59.4MVA (B) 105.6MVA (C) 118.8MVA (D) 132MVA

答案：[C]

解答过程：根据《电力系统设计手册》式 (8-3) 有：

$$Q_{kb} = \frac{l}{2} q_c B = \frac{120 \times 2}{2} \times 1.1 \times 0.9 \text{Mvar} = 118.8 \text{MVA}。$$

(2) 如该变电站本期 35kV 母线的短路容量 1800MVA，每 35kV 电容器串联电抗器的电抗率为 4.5%，为了在投切电容器组时不发生 3 次谐波谐振则下列哪组容量不应选用？（列式计算）

- (A) 119Mvar (B) 65.9Mvar (C) 31.5Mvar (D) 7.89Mvar

▶ 答案：[A]

▶ 解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》（GB 50227—2008）第 3.0.3 条第 3 款：发生谐振的电容器容量，可按下式计算：

$$Q_{\text{cx}} = S_{\text{d}} \left(\frac{1}{n^2} - K \right) = 1800 \left(\frac{1}{3^2} - \frac{4.5}{100} \right) \text{Mvar} = 119 \text{Mvar}$$

故应选择避开该容量的补偿电容器。

题 2：某区域电网中现运行一座 500kV 变电所，根据负荷发展情况需要扩建，该变电所现状、本期及远景建设规模见表 15-1。（2012）

表 15-1 变电所现状、本期及远景建设规模

	现有规模	远景建设规模	本期建设规模
主变压器	1 × 750MVA	4 × 1000MVA	2 × 1000MVA
500kV 出线	2 回	8 回	4 回
220kV 出线	6 回	16 回	14 回
500kV 配电装置	3/2 断路器接线	3/2 断路器接线	3/2 断路器接线
220kV 配电装置	双母线接线	双母线双分段接线	双母线双分段接线

(1) 500kV 线路均采用 4 × LGJ400 导线，本期 4 回线路总长度为 303km，为限制工频过电压，其中一回线路上装有 120Mvar 并联电抗器；远景 8 回线路总长度预计为 500km，线路充电功率按 1.18Mvar/km 计算。请问远景及本期工程该变电所 35kV 侧配置的无功补偿低压电抗器容量为下列哪组数值？

- (A) 590Mvar、240Mvar (B) 295Mvar、179Mvar
(C) 175Mvar、59Mvar (D) 116Mvar、23Mvar

▶ 答案：[C]

▶ 解答过程：根据《330kV ~ 750kV 变电站无功补偿装置设计技术规定》（DL/T 5014—2010）条文说明第 5.0.7 条。

5.0.7 按就地平衡原则，变电站装设电抗器的最大补偿容量，一般为其所接线路充电功率的 1/2。目前低压电抗器安装容量一般在变压器的 30% 以下。在 330kV ~ 750kV 电网投运初期，由于负荷轻，电容器容量较少，甚至不装电容器。随着负荷增长和电网发展，安装容量相应增加。这些情况在变电站平面布置和控制室设计中，应考虑分批安装无功设备的需要。

对于本题，可得远景电抗器的补偿容量为 $500 \times 1.18/2 \text{Mvar} = 295 \text{Mvar}$ ，现有一回线路上装有 120Mvar 并联电抗器，可得低压电抗器的补偿容量为 $(295 - 120) \text{Mvar} = 175 \text{Mvar}$ 。同理，本期的低压电抗器的补偿容量为 $(303 \times 1.18/2 - 120) \text{Mvar} \approx 59 \text{Mvar}$ 。

(2) 该变电所现有 750MVA 主变阻抗电压百分比为 $U_{k(1-2)}\% = 14\%$ ，本期扩建的 2 × 1000MVA 主变电抗电压百分比采用 $U_{k(1-2)}\% = 16\%$ ，若三台主变并列运行，它们的负载分布为下列哪种情况？请计算并说明。

- (A) 三台主变负荷均分布
- (B) 1000MVA 主变容量不能充分发挥作用, 仅相当于 642MVA
- (C) 三台主变安容量大小分布负荷
- (D) 1000MVA 主变容量不能充分发挥作用, 仅相当于 875MVA

答案: [D]

解答过程: 根据《电力变压器应用导则》(GB/T 13499—2002) 第 6.3 条规定: 当两台变压器短路阻抗相等时, 这表示在相等的标么值负载下, 它们具有相同的电压降。如果并联运行, 它们所承担的负载与各自的额定容量成正比。当并联连接的变压器短路阻抗不相等时, 阻抗值低的变压器同阻抗值高的变压器相比, 其负载容量占有较高的额定容量百分数, 以使两台变压器绝对电压降相等。设 S_{ra} 、 S_{rb} 为两台变压器的额定容量, S 为它们要承担的负载, 各自承担的负载为 S_a 、 S_b , Z_a 、 Z_b 为其短路阻抗电压百分数, 则根据式 (65) 有:

$$\frac{S_a}{S_{ra}} = \frac{S}{S_{ra} + \frac{Z_a}{Z_b} \times S_{rb}}, \frac{S_b}{S_{rb}} = \frac{S}{S_{rb} + \frac{Z_b}{Z_a} \times S_{ra}}$$

由题目已知 $S_{ra} = 750\text{MVA}$, $S_{rb} = 1000\text{MVA}$, $S_a + S_b = S$, $Z_a = 14\%$, $Z_b = 16\%$ 。代入上式有 $S_a = 0.46S$, $S_b = 0.54S$, 当 $S_a = 750\text{MVA}$ 满载时, 可得 $S_b = 880.4\text{MVA}$ 。

(3) 请计算本期扩建的两台 1000MVA 主变满载时, 最大无功损耗为下列哪项数? (不考虑变压器空载电流)

- (A) 105Mvar
- (B) 160Mvar
- (C) 265Mvar
- (D) 320Mvar

答案: [D]

解答过程: 根据《电力系统设计手册》式 (10-46) 可得:

$$\Delta Q_T = \frac{1}{n} \times \frac{S^2}{U^2} X_T = \frac{1}{2} \times \frac{2000^2}{500^2} \times \frac{16}{100} \times \frac{500^2}{1000} \text{Mvar} = 320 \text{Mvar}$$

分析: 本题不考虑变压器空载电流, 故公式的后半部分不需要带入。

(4) 该变电所 220kV 为户外配电装置, 采用软母线 (JLHA2) 型钢芯铝合金绞线, 若远景 220kV 母线最大穿越功率为 1200MVA, 在环境温度为 35℃, 海拔高度低于 1000m 条件下, 根据计算选择一下哪种导线经济合理?

- (A) $2 \times 900\text{mm}^2$
- (B) $4 \times 500\text{mm}^2$
- (C) $4 \times 400\text{mm}^2$
- (D) $4 \times 630\text{mm}^2$

答案: [B]

解答过程: 查《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 表 D.11 可得裸导体在不同海拔 (1000m 以下) 高度及环境温度 (35℃) 下的综合校正系数为 0.89。根据最大穿越功率算出 220kV 母线的工作电流为

$$I_g = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{1200}{\sqrt{3} \times 220} \text{kA} = 3.149 \text{kA} = 3149 \text{A}$$

则应该选取的导线的最小载流量为 $I_{\min} = \frac{I}{0.89} = \frac{3149}{0.89} \text{A} \approx 3538 \text{A}$, 查表 D.4, 选取 $4 \times$

500mm²的 JLHA2 型钢芯铝合金绞线的载流量为 $4 \times 988 \text{ A} = 3952 \text{ A} > 3538 \text{ A}$ ，满足要求。

题 3: 某 220kV 变电所，最终规模为两台 180MVA 的主变，额定电压为 220/110/35kV，拟在 35kV 侧装设并联电容器进行无功补偿。(2010)

(1) 请问本变电所的每台主变的无功补偿容量取哪个为宜？

- (A) 15000kvar (B) 40000kvar (C) 63000kvar (D) 80000kvar

► 答案：[B]

► 解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 条文说明第 3.0.2 条可知并联电容器的安装容量，由于各地电网情况和无功补偿容量的差异而略有不同，一般不少于 10%，不大于 30%。因此，如果没有调相、调压计算依据，并联电容器的装设容量，也可大致按主变按变压器容量的 10% ~ 30% 确定，即 $180 \times 1000 \times (10\% \sim 30\%) = (18000 \sim 54000) \text{ kvar}$ 。故选 B 为正确答案。

► 分析：根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—1995) 第 3.0.2 条可知，当不具备计算条件时，电容器的安装容量可按变压器容量的 10% ~ 30% 确定。

(2) 本变电所每台主变装设电容器组容量确定后，将分组安装，下列确定分组原则哪一条是错误的？

- (A) 电压波动 (B) 负荷变化 (C) 谐波含量 (D) 无功规划

► 答案：[D]

► 解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 3.0.3 条及条文说明，变电所装设无功补偿电容器的总容量确定以后，将分组安装，分组的主要原则是根据电压波动、负荷变化、谐波含量等因素确定，与无功规划无关，故选 D 为正确答案。

(3) 本所 35kV 母线三相短路容量为 700MVA，电容器组的串联电抗器的电抗率为 5%，请计算发生三次谐波谐振的电容器容量是多少？

- (A) 42.8Mvar (B) 74.3Mvar (C) 81.7Mvar (D) 113.2Mvar

► 答案：[A]

► 解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 3.0.3 条及式 (3.0.3) 可知，发生三次谐波谐振的电容器容量为

$$Q_{\text{ex}} = S_{\text{d}} \left(\frac{1}{n^2} - K \right) = 700 \times \left(\frac{1}{3^2} - 5\% \right) \text{ Mvar} = 42.8 \text{ Mvar}$$

故本题选 A 为正确答案。

(4) 若该所并联电容器接入电网的背景谐波为 5 次以上，则串联电抗器的电抗率是 ()。

- (A) 1% (B) 5% (C) 12% (D) 13%

► 答案：[B]

► 解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 5.5.2 条。

5.5.2 串联电抗器的电抗率选择，应根据电网条件与电容器参数经过相关计算分析确定，电抗率取值范围应符合下列规定：

- 1 仅用于限制涌流时，电抗率宜取 0.1% ~ 1.0%。
- 2 用于抑制谐波，电抗率应根据并联电容器装置接入电网处的背景谐波含量的测量值选择。当谐波为 5 次及以上时，电抗率宜取 4.5% ~ 5%；当谐波为 3 次及以上时，电抗率宜取 12%，亦可采用 4.5% ~ 5.0% 与 12.0% 两种电抗率混装方式。

由第 2 款，由于该所并联电容器接入电网的背景谐波为 5 次以上，则串联电抗器的电抗率是 4.5% ~ 5.0%。

(5) 若本所每台主变安装单组容量为 3 相 35kV，12000kvar 的电容器两组，若电容器采用单星形接线，每相由 10 台电容器并联两台电容器串联而成，请计算单台电容器容量为（ ）。

- (A) 500kvar (B) 334kvar (C) 200kvar (D) 250kvar

▶ 答案：[C]

▶ 解答过程：依题意，每相电容器有两个串段，采用单星形接线形式，即每相电容器为 $2 \times 10 = 20$ 台，而每相电容器容量 $12000/3 = 4000\text{kvar}$ ，可知单台电容器容量 $4000/20 = 200\text{kvar}$ 。

题 4：500kV 变电所，750MVA，500/220/35kV 主变两台，拟在 35kV 侧安装并联补偿电容器组。(2009)

(1) 电容器补偿容量不宜选（ ）。

- (A) 150Mvar (B) 300Mvar (C) 400Mvar (D) 600Mvar

▶ 答案：[D]

▶ 解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 条文说明第 3.0.2 条可知变电所里的电容器安装容量，应根据本地区电网无功规划以及国家现行标准《电力系统电压和无功电力技术导则》和《全国供用电规则》的规定计算后确定。当不具备设计计算条件时，电容器安装容量可按变压器容量的 10% ~ 30% 确定。

由以上分析可得，并联电容器的容量范围为 $750 \times 2 \times (10\% \sim 30\%) \text{Mvar} = (150 \sim 450) \text{Mvar}$ 。

▶ 分析：根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—1995) 第 3.0.2 条可知当不具备计算条件时，电容器的安装容量可按变压器容量的 10% ~ 30% 确定。

(2) 为限制 3 次及以上谐波，电容器组的串联电抗应该选（ ）。

- (A) 1% (B) 4% (C) 13% (D) 30%

▶ 答案：[C]

▶ 解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 5.5.2.2 条可

知当并联电容器装置接入电网处的背景谐波为 3 次及以上时, 串联电抗器的电抗率宜取 12%; 或由《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 9-23, 为抑制 3 次谐波, 电抗率取 12% ~ 13%。故本题选 C。

(3) 三相 35kV 60000kvar 的电容器 4 组, 双星形连接, 每相先并后串, 由两个串段组成, 每段 10 个单台电容器, 则单台电容器的容量为 ()。

- (A) 1500kvar (B) 1000kvar (C) 500kvar (D) 250kvar

▶ 答案: [C]

▶ 解答过程: 1) 每相容量 $60000/3 = 20000\text{kvar}$; 2) 每相二个串段组成, 每段 10 个单台电容器, 所以单星形每相 $2 \times 10 = 20$ 台, 双星形连接每相有 40 台; 3) 单台电容器容量 $20000/40\text{kvar} = 500\text{kvar}$ 。

(4) 本所 35kV 三相 4 组, 双星形连接, 先并后串, 由二个串段组成, 每段 10 个单台 334kvar 电容器并联, 其中一组串 12% 的电抗器, 这一组电容器的额定电压接近 ()。

- (A) 5.64kV (B) 10.6kV (C) 10.75kV (D) 12.05kV

▶ 答案: [D]

▶ 解答过程: 由《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 5.2.2 条第 3 款, 电容器额定电压的选择应计入串联电抗器引起的电容器运行电压升高, 接入串联电抗器后, 电容器运行电压按式 (5.2.2) 计算:

$$U_c = \frac{U_s}{\sqrt{3}S} \frac{1}{1-K} = \frac{1.05 \times 35}{\sqrt{3} \times 2} \times \frac{1}{1-12\%} \text{kV} = 12.05\text{kV}$$

式中 U_c ——电容器端子运行电压 (kV);

U_s ——并联电容器装置的母线电压 (kV);

S ——电容器组每相的串联段数。

故本题选 D。

(5) 4 组三相 35kV 60000kvar 电容器, 每组串 12% 电抗, 当 35kV 母线短路容量为下面 () 时, 可不考虑电容器对母线短路容量的助增。

- (A) 1200MVA (B) 1800MVA (C) 2200MVA (D) 3000MVA

▶ 答案: [D]

▶ 解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 附录 F 的 F.7 条, 对于采用 (12~13)% 串联电抗器的电容器装置满足 $Q_c/S_d < 10\%$ 时, 可以不考虑其对短路电流的影响, 由此可得

$$S_d > Q_c/10\% = 60\text{Mvar} \times 4/10\% = 2400\text{Mvar}$$

故选 D 为正确答案。

题 5: 某变电站分两期工程建设, 一期和二期在 35kV 母线侧各装一组 12Mvar 并联电容器成套装置。(2008)

(1) 一期的成套装置中串联电抗器的电抗率为 6%，35kV 母线短路电流为 13.2kA，试计算 3 次谐波谐振的电容器容量应为下列哪些数值？

- (A) 40.9Mvar (B) 23.1Mvar (C) 216Mvar (D) 89.35Mvar

答案：[A]

解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》（GB 50227—2008）第 3.0.3 条，当分组电容器按各种容量组合运行时，不得发生谐振，谐振电容器容量，按式（3.0.3）计算如下：

$$S_d = \sqrt{3} U_e I_d = \sqrt{3} \times 35 \times 13.2 \text{ Mvar} = 800.2 \text{ Mvar}$$

$$Q_{CX} = S_d \left(\frac{1}{n^2} - K \right) = 800.2 \times \left(\frac{1}{3^2} - 6\% \right) \text{ Mvar} = 40.9 \text{ Mvar}$$

(2) 若未接入电容器装置时的母线电压是 35kV，试计算接入第一组电容器时，母线的稳态电压升高值应为下列哪项？

- (A) 0.525kV (B) 0.91kV (C) 1.05kV (D) 0.3kV

答案：[A]

解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》（GB 50227—2008）条文说明第 5.2.2 条式（1）计算：

$$\Delta U_s = U_{s0} \frac{Q}{S_d} = 35 \times \frac{12}{800.2} \text{ kV} = 0.525 \text{ kV}$$

(3) 若成套电容器组采用串并接方式，各支路内部两个元件串接，假设母线的电压为 36kV，计算单个电容器的端电压为下列何值？

- (A) 11.06kV (B) 19.15kV (C) 22.11kV (D) 10.39kV

答案：[A]

解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》（GB 50227—2008）条文说明第 5.2.2 条第 3 款，电容器额定电压的选择，应计入接入串联电抗器引起的电容器运行电压升高，电容器运行电压应按下式计算：

$$U_c = \frac{U_s}{\sqrt{3}S} \times \frac{1}{1-K} = \frac{36}{\sqrt{3} \times 2} \times \frac{1}{1-0.06} \text{ kV} = 11.06 \text{ kV}$$

(4) 对电容器与断路器之间连线短路故障，宜设带短延时的过电流保护动作于跳闸，假设电流互感器电流比为 300/1，接星形接线，若可靠系数为 1.5，电容器长期允许的最大电流按额定电流计算，计算过电流保护的動作电流应为下列何值？

- (A) 0.99A (B) 1.71A (C) 0.66A (D) 1.34A

答案：[A]

解答过程：根据《电力工程电气设计手册 电气二次部分》式（27-3），对电容器与断路器之间连线短路故障宜装设带短延时的过电流保护，动作于跳闸。其动作电流的计算如下：

$$I_{dz} = \frac{K_k K_{jx} I_e}{n_1} = \frac{1.5 \times 1 \times \frac{12}{\sqrt{3} \times 35}}{300} A = 0.99 A$$

题 6: 某 35kV 变电站配置了三相并联电容器组作为无功补偿装置, 请对下列问题作解答。
(2008)

(1) 串联电抗器 L 可安装在电容器组的电源侧和中性点侧两个位置, 其作用和要求有所不同, 请判断下列论述中有关错误并说明理由。

- (A) 限制合闸涌流和抑制谐波的作用是不同的
- (B) 限制合闸涌流和抑制谐波的作用是不同的
- (C) 串联电抗器在中点侧对动、热稳定没有特殊要求
- (D) 串联电抗器装在电容器的电源侧应校验动、热稳定电流

▶ 答案: [A]

▶ 解答过程: 根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—1995) 条文说明第 4.2.3 条可知, 串联电抗器无论装在电容器组的电源侧或中性点侧, 从限制合闸涌流和抑制谐波来说, 作用都一样。但串联电抗器装在中性点侧, 正常运行串联电抗器承受的对地电压低, 可不受短路电流的冲击, 对动热稳定没有特殊要求, 可减少事故, 使运行更加安全。当需要把串联电抗器装在电源侧时, 普通电抗器是不能满足要求的, 应采用加强型电抗器, 但这种产品是否满足安装点对设备动热稳定的要求, 也应经过校验。

▶ 分析: 本题若根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 条文说明第 4.2.3 条答题, 但该条并未明确指出串联电抗器装设在电源侧和中性点侧对抑制合闸涌流和抑制谐波的作用是一样的, 因此只能按 1995 年规范答题。

(2) 电容器组单星形接线, 回路串有 12% 的电抗器, 每相由两台电容器串联组合而成, 请计算确定单台电容器的 U_e 值为 ()。

- (A) 3kV
- (B) 6.3kV
- (C) 10.5kV
- (D) 11kV

▶ 答案: [D]

▶ 解答过程: 根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 5.2.2 条及条文说明第 5.2.2 条, 电容器的额定电压可先由公式 (2) 求出计算值再从产品标准系列中选取, 计算公式如下:

$$U_{CN} = \frac{1.05 \times U_{SN}}{\sqrt{3}S(1-K)} = \frac{1.05 \times 35}{\sqrt{3} \times 2 \times (1-12\%)} kV = 12.05 kV$$

(3) 某 35kV 母线三相短路容量为 2000MVA, 采用 6% 串联电抗器, 计算电容器组容量不超过下列何值时, 可不考虑电容器组对短路电流的助增作用, 说明理由。

- (A) 100Mvar
- (B) 200Mvar
- (C) 300Mvar
- (D) 400Mvar

▶ 答案: [A]

▶ 解答过程: 根据《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005) 附录 F 第

F.7.1 条可知，对于采用 6% 串联电抗器的电容器装置 $Q_c/S_d \leq 5\%$ 时，可以不考虑其对短路电流的影响，由此可得

$$Q_c \leq S_d \times 5\% = 2000 \times 5\% \text{ Mvar} = 100 \text{ Mvar}$$

(4) 若电容器组三相容量为 20Mvar，选择的断路器额定电流最小不小于下列何值，并说明理由。

- (A) 297A (B) 330A (C) 445A (D) 660A

答案：[C]

解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 5.1.3 条，即并联电容器装置的总回路和分组回路的电器导体选择时，回路工作电流应按稳态过电流最大值确定，过电流倍数应为回路额定电流的 1.3 倍。

对于本题，根据 5.1.3 条有

1) 电容器组额定电流为

$$I_n = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_c} = \frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 35} \text{ A} = 329.9 \text{ A}$$

2) 断路器额定电流为

$$I = 1.3I_n = 1.3 \times 329.9 \text{ A} \approx 428.87 \text{ A}$$

分析：若根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—1995) 第 5.1.3 条，并联电容器装置的总回路和分组回路的电器和导体的稳态过电流，应为电容器组额定电流的 1.35 倍。由此可得断路器额定电流为

$$I = 1.35I_n = 1.35 \times 329.9 \text{ A} \approx 445 \text{ A}$$

考虑到这是 2008 年的考题，按后者计算出的结果更为精确。

(5) 若电容器组由额定电压 11kV，单台容量为 200kvar 的电容器组成，请计算保护该电容器熔断器的熔丝的 I_e 选何值，并说明理由。

- (A) 16A (B) 26A (C) 30A (D) 40A

答案：[A]

解答过程：1) 单台电容器额定电流为

$$I_n = \frac{S_c}{U_c} = \frac{200}{\sqrt{3} \times 11} \text{ A} = 10.5 \text{ A}$$

2) 根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 5.4.2 条知，熔断器的熔丝额定电流选择，应按电容器额定电流的 1.37 ~ 1.5 倍选择，即 I_e 应该满足

$$\begin{aligned} 1.37I_n &\leq I_e \leq 1.5I_n \\ \Rightarrow 1.37 \times 10.5 &\leq I_e \leq 1.5 \times 10.5 \\ \Rightarrow 14.4 \text{ A} &\leq I_e \leq 15.75 \text{ A} \end{aligned}$$

分析：若根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—1995) 第 5.4.3 条，熔断器的熔丝额定电流选择，不应小于电容器额定电流的 1.43 倍，并不宜大于额定电流的 1.55 倍，即 I_e 应该满足

$$\begin{aligned}
 1.43I_n &\leq I_e \leq 1.55I_n \\
 \Rightarrow 1.43 \times 10.5 &\leq I_e \leq 1.55 \times 10.5 \\
 \Rightarrow 15\text{A} &\leq I_e \leq 16.3\text{A}
 \end{aligned}$$

答案与 A 吻合。

(6) 35kV 并联电容器组安装处母线短路容量为 2000MVA，电容器串 6% 电抗器，以免发生 5 次谐波谐振，请计算确定电容器容量不能选下列哪项？

- (A) 40Mvar (B) 37Mvar (C) 30Mvar (D) 20Mvar

答案：[A]

解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 3.0.3 条。

3.0.3 并联电容器分组容量的确定应符合下列规定：

1 在电容器分组投切时，母线电压波动应满足国家现行有关标准的要求，并应满足系统无功功率和电压调控的要求。

2 当分组电容器按各种容量组合运行时，应避免谐振容量，不得发生谐波的严重放大和谐振，电容器支路的接入所引起的各侧母线的任何一次谐波量均不应超过现行国家标准《电能质量—公用电网谐波》GB/T 14549 的有关规定。

3 发生谐振电容器容量，可按下列公式计算：

$$Q_{\text{ex}} = S_d \left(\frac{1}{n^2} - K \right) \quad (3.0.3)$$

式中 Q_{ex} ——发生 n 次谐波谐振的电容器容量 (Mvar)；

S_d ——并联电容器装置安装处的母线短路容量 (MVA)；

n ——谐波次数，即谐波频率与电网基波频率之比；

K ——电抗率。

根据公式 (3.0.3)，谐振电容器的容量可按下列公式计算：

$$Q_{\text{ex}} = S_d \left(\frac{1}{n^2} - K \right) = 2000 \times \left(\frac{1}{5^2} - 6\% \right) \text{Mvar} = 40\text{Mvar}$$

题 7：有一台发电机 300MW，通过容量为 360MVA 额定电压 242/20kV 升压变，二回 220kV $2 \times \text{LGJ-400/100km}$ 与系统连接，正常运行时变压器中性点直接接地。(2005)

(1) 在做规划设计阶段，潮流计算哪些参数？

(A) 发电机的 X_d ，发电机出力 $P_G + jQ_G$ ，变压器正、负序电抗 (X_1 、 X_2)，线路正序零序阻抗分别为 ($R_1 + jX_1$) 和 ($R_0 + jX_0$)，负荷 ($P_L + jQ_L$)。

(B) 发电机出力 $P_G + jQ_G$ ，变压器正序电抗 (X_1)，线路正序阻抗 ($R_1 + jX_1$)，负荷 ($P_L + jQ_L$)。

(C) 发电机出力 $P_G + jQ_G$ ，变压器正序零序阻抗 (X_1 、 X_0)，线路正序零序阻抗 ($R_1 + jX_1$) 和 ($R_0 + jX_0$)，负荷 $P_G + jQ_G$ 。

(D) 发电机的同步电抗 X_d ；发电机出力 $P_G + jQ_G$ ，变压器正序电抗 (X_1)，线路正序阻抗 ($R_1 + jX_1$)，负荷 ($P_L + jQ_L$)。

答案：[B]

解答过程：在潮流计算中并不需要负序和零序阻抗。负序和零序阻抗主要用于短路电流计算中。

(2) 360MVA 变压器 $U_d\% = 14\%$ 基准电压 $U_B = 230\text{kV}$ ， $S_B = 100\text{MW}$ ，其正序、零序标么值为 ()

- (A) 0.0431/0.0431 (B) 0.0389/0.0389
(C) 0.0431/0.1293 (D) 0.0389/0.1167

答案：[B]

解答过程：1) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 4-2 节表 4-2 中的公式可得变压器正序阻抗标么值为

$$X_{* \cdot d} = \frac{U_d\%}{100} \times \frac{S_j}{S_e} = \frac{14}{100} \times \frac{100}{360} = 0.0389$$

2) 对于中性点直接接地变压器，根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》表 4-17 可得，变压器的零序阻抗标么值为 $X_0 = X_1 = 0.0389$ 。

(3) 220kV 架空线路 $2 \times \text{LGJ-400}$ 导线及良导体避雷线，单长 100km，电抗有名制 $0.297\Omega/\text{km}$ ， $U_B = 230\text{kV}$ ， $S_B = 100\text{MW}$ 。二回路的正序、零序电抗的标么值为 ()。

- (A) 0.056/0.168 (B) 0.056/0.0187 (C) 0.0181/0.0843 (D) 0.0281/0.0094

答案：[A]

解答过程：1) 根据《电力工程电气设计手册 电气一次部分》第 4-2 节表 4-2 及表 4-3 可得

$$X_1^* = X_1 \frac{S_j}{U_j^2} = 0.297 \times 100 \times \frac{100}{230^2} = 0.056$$

表 4-3 各类元件的电抗平均值

序号	元件名称	电抗平均值			备注
		X_1^* 或 $X_1(\%)$	$X_2(\%)$	$X_0(\%)$	
1	无阻尼绕组的水轮机发电机	29.0	45.0	11.0	国产机
2	有阻尼绕组的水轮发电机	21.0	21.5	9.5	
3	容量为 50MW 及以下的汽轮发电机	14.5	17.5	7.5	
4	100MW 及以下的汽轮发电机	17.5	21.0	8.0	
5	200MW 的汽轮发电机	14.5	17.5	8.5	
6	300MW 的汽轮发电机	17.2	19.8	8.4	
7	同步调相机	16.0	16.5	8.5	
8	同步电动机	15.0	16.0	8.0	
9	异步电动机	20.0			

(续)

序号	元件名称		电抗平均值			备注
			X_1'' 或 X_1 (%)	X_2 (%)	X_0 (%)	
10	6 ~ 10kV 三芯电缆		$X_1 = X_2 = 0.08\Omega/\text{km}$		$X_0 = 0.35X_1$	
11	20kV 三芯电缆		$X_1 = X_2 = 0.11\Omega/\text{km}$		$X_0 = 0.35X_1$	
12	35kV 三芯电缆		$X_1 = X_2 = 0.12\Omega/\text{km}$		$X_0 = 3.5X_1$	
13	110kV 三芯电缆和 220kV 三芯电缆		$X_1 = X_2 = 0.18\Omega/\text{km}$		$X_0 = (0.8 \sim 1.0)X_1$	
14	无避雷线的架空输电线路	单回路	单导线 $X_1 = X_2 = 0.4\Omega/\text{km}$		$X_0 = 3.5X_1$	系每回路值
15		双回路			$X_0 = 3.5X_1$	
16	有钢质避雷线的架空输电线路	单回路	双分裂导线 $X_1 = X_2 = 0.31\Omega/\text{km}$		$X_0 = 3X_1$	系每回路值
17		双回路			$X_0 = 4.7X_1$	
18	有良导体避雷线的架空输电线路	单回路	四分裂导线 $X_1 = X_2 = 0.29\Omega/\text{km}$		$X_0 = 2X_1$	系每回路值
19		双回路			$X_0 = 3X_1$	

注： X_1 —正序电抗； X_2 —负序电抗； X_0 —零序电抗

注： X_1 —正序电抗； X_2 —负序电抗； X_0 —零序电抗

2) 对于有良导体避雷线的架空输电双回路线路 $X_0 = 3X_1 = 3 \times 0.056 = 0.168$ 。

(4) 下列哪种在故障下保护开关正确动作，为保持系统稳定运行，可以采取切荷？

- (A) 300MW 发电机跳闸
- (B) 一回 220kV 线路无故障断开不重合
- (C) 一回 220kV 线路三相故障断开不重合
- (D) 220kV 母线单相接地故障

答案：[D]

解答过程：根据《电力系统安全稳定导则》(DL/T 755—2001) 第 3.2.2 条第 b 款 (见本章多项选择题第 (2) 题) 可知，当发生任一段母线故障时，保护、开关及重合闸正确动作，应能保持稳定运行，必要时允许采取切机和切负荷等稳定性措施。

题 8：某 220kV 变电站有 180kVA、220 (1±4×2.5%) kV 的主变压器两台。其 35kV 配电装置装有 8 回出线，单母线分段接线，35kV 母线上有若干组电容器，电抗率为 5%。35kV 母线并列运行时的三相短路容量为 1672.2kVA。请回答下列问题。(2013)

(1) 如该变电站的每台主变压器 35kV 侧装设有三相电容器，4 回出线。其 35kV 侧主接线不能用下列哪种接线方式 (见图 15-1)？并说明理由。

答案：[C]

解答过程：根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 4.1.1 条，并联电容器装置的各分组回路可采用直接接入母线，并经总回路接入变压器的接线方式，当同级电压母线上有供电线路，经技术经济比较合理时，也可采用设置电容器专用母线的接线方式。A、B 为经电容器专用母线接入系统的接线方式，C、D 为直接接入母线的接线方式。

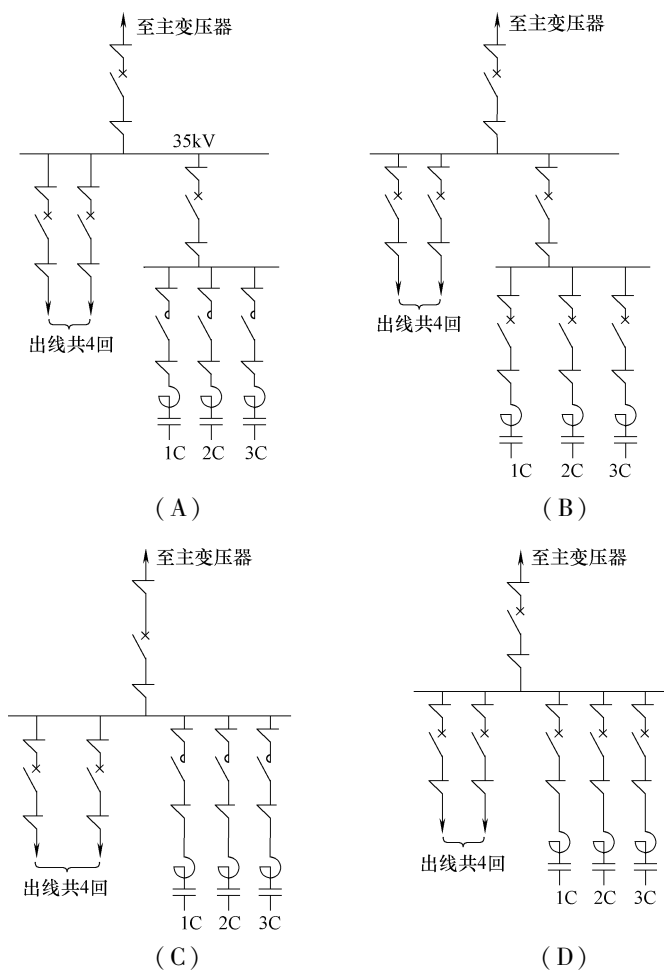


图 15-1

根据该条的条文说明，为满足电网运行中不断变化的无功需求，通常需要电容器组频繁投切，若分组回路采用能断开母线短路电流的断路器，因断路器价格较贵会引起工程造价提高，为节约投资，设置电容器组专用母线，专用母线的总回路使用断路器，按能开断母线短路电流选择。分组开关不考虑开断母线短路电流，可以采用价格便宜的真空开关（接触器），以满足频繁投切的要求。相对而言，A 使用了 6 个断路器，3 负荷开关，专用母线回路使用了断路器，可以采用这种接线。B 使用了 9 个断路器，没有负荷开关，专用母线回路使用了断路器，虽然不经济，但也可以采用这种接线。C 使用了 5 个断路器，3 个负荷开关，没有经母线断路器就直接连接到母线上，安全性问题将无法保障，故 C 接线有错误。D 使用了 8 个断路器，没有负荷开关和专用母线断路器，直接接入母线，采用这种接线也是允许的。

(2) 如该变电站两段 35kV 母线安装的并联电容器总容量为 60Mvar，请验证 35kV 母线是否会发生 3 次、5 次谐波谐振？并说明理由。

- (A) 会发生 3 次、5 次谐波谐振
 (B) 会发生 3 次谐波谐振，不会发生 5 次谐波谐振

(C) 会发生 5 次谐波谐振, 不会发生 3 次谐波谐振

(D) 不会发生 3 次、5 次谐波谐振

► 答案: [D]

► 依据: 根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 式 3.0.3 有, 发生谐振的电容器容量, 对 3 次谐波为

$$Q_{\text{ex}} = S_{\text{d}} \left(\frac{1}{n^2} - K \right) = 1672.2 \times \left(\frac{1}{3^2} - 5\% \right) \text{kvar} = 102.19 \text{kvar}$$

对于 5 次谐波为

$$Q_{\text{ex}} = S_{\text{d}} \left(\frac{1}{n^2} - K \right) = 1672.2 \times \left(\frac{1}{5^2} - 5\% \right) \text{kvar} = -16.722 \text{kvar}$$

而由有题干可知, 两段 35kV 母线安装的并联电容器总容量为 60Mvar, 可见 3 次、5 次谐波均不会发生谐振。

(3) 如该变电站安装的电容器组为框架装配式电容器, 单星形接线, 由单台容量 417kvar 电容器串并联而成, 电容器外壳能承受的爆裂能量为 14kJ。试求每相串联段的最大并联电容器台数为下列哪项?

(A) 7 台 (B) 8 台 (C) 9 台 (D) 10 台

► 答案: [C]

► 解答过程: 方法 1: 根据《35kV ~ 220kV 变电站无功补偿装置设计技术规定》(DL/T 5242—2010) 公式 B.4 有

$$M_{\text{zd}} \leq \frac{259E_{\text{zx}}}{Q_{\text{cd}}} + 1 = \frac{259 \times 14}{417} + 1 \approx 9.7, \text{取} 9。$$

方法 2: 根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 4.1.2 条第 3 款, 并联电容器组的每个串联段的电容器并联总容量不应超过 3900kvar。现已知每个电容器的容量为 417kvar, 故每个串段的最大电容器并联台数为 $\frac{3900}{417} \approx 9.35$, 取 9, 如果取 10, 则每个串段总容量将超过 3900kvar。

► 分析: 两个方法均能求出正确答案, 但题目中给出了电容器外壳能承受的爆裂能量, 应该是选择电容器并联段的控制条件, 因而方法 1 更贴近出题者的意图。

(4) 如该变电站中, 35kV 电容器单组容量为 10000kvar, 三组电容器组采用专用母线方式接入 35kV 主母线, 请计算专用母线断路器长期允许电流最小不应小于下列哪项数值?

(A) 495A (B) 643A (C) 665A (D) 1000A

► 答案: [B]

► 解答过程: 根据《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008) 第 5.1.3 条, 并联电容器装置总回路和分组回路的电器导体选择时, 回路工作电流应按稳态过电流最大值确定, 过电流倍数应为回路额定电流的 1.3 倍。故专用母线断路器的长期允许电流最小为

$$1.3 \times \frac{3 \times 10000}{\sqrt{3} \times 35} \text{A} = 643.3 \text{A}$$

附录

附录 A 注册电气工程师发输变电专业执业资格考试注意事项

- 一、考生须知
- 二、评分过程
- 三、案例题答卷要求

一、考生须知：

1. 全国注册电气工程师专业考试均分为 2 天，第一天为专业知识考试，成绩上午、下午合并计分（算一科）；第二天为专业案例考试，成绩上、下午合并计分（算一科）。考试时间每天上、下午各 3 个小时。专业考试为非滚动管理考试，考试应在一个考试年度内通过全部考试。

2. 第一天专业知识全部为客观题，上、下午各 70 道题，其中单选题 40 题，每题 1 分，共 40 分；多选题 30 道，每题 2 分，共 60 分。上下午各 100 分，全天试卷满分 200 分。

3. 第二天为案例题，上午 25 道必答题，下午 40 道题，考生从中选择 25 道作答，如果考生在答题卡和试卷上作答超过 25 道题，按题目序号从小到大的顺序对前 25 道做答题评分，其它作答题无效。每题分值 2 分，试卷满分 100 分。

4. 试卷作答用笔：黑色或蓝黑色墨水的钢笔、签字笔；考生在试卷上作答时，必须使用试卷作答用笔，不得使用铅笔、圆珠笔，否则视为无效试卷。填涂答题卡用笔：2B 铅笔。

5. 考生应考时应携带试卷作答用笔、2B 铅笔、三角板、橡皮和无声、无编程功能的计算器。（为确保顺利答题，建议多备一套）

6. 参加专业考试的考生允许携带正规出版社出版的各种专业规范、参考书和相关手册。所有标准、规范以考试年度 1 月 1 日前实施的最新版本为准，当手册与规范有冲突时，以规范为准。

7. 考生须用试卷作答用笔将工作单位、姓名、准考证号（注意每场考试准考证号可能不同，在准考证上都有说明）分别填写在答题卡和试卷相应栏目内（不按规定填写，则试卷无效）。

8. 对于 2 天的考试，考生都必须按题号在答题卡上将所选项对应的字母用 2B 铅笔涂黑。如有改动，请考生务必用橡皮将原选项的填涂擦净，以免造成电脑读卡时误读。在答题卡上书写与题意无关的语言，或在答题卡上作标记的，均按违纪试卷处理。

9. 考生在作答专业案例试题时，必须在每道试题对应的答案位置处填写上该试题所选答案（用作答笔填写上所选项对应的字母），并必须在相应的试题空白处写明该题的简要解答过程。依据的规范、手册，同时还要须将所选答案用 2B 铅笔填涂在答题卡上。考生在试卷上书写案例分析及公式时，应公工整、清晰，以便专家阅卷。

二、评分过程

1. 计算机读卡

全国注册电气工程师专业案例考试采用各地计算机读卡，全国统计集中阅卷方式。

首先各地按人力资源和社会保障部下发的考试规则模版分别对考生的基础、专业知识、专业案例考试上、下午答题卡进行机读评分，并按规定将各科考试成绩信息以 PDF 格式上报人力资源和社会保障部人事考试中心。

2. 人事考试中心对各地上报的各科读卡成绩分别进行统计分析，并将各科成绩统计分析结果及时报送全国勘察设计注册工程师管理委员会，全国管委会将依据读卡成绩分析结果，经研究后确定各科的调档分数线。

3. 正式评分前一周，各地将专业案例试题的考生试卷（上、下午）、考场记录单和报考人员名册一并以机要邮寄方式或派专人押送到指定的阅卷点。对专业知识考试和专业案例考试读卡成绩均达到调档分数线的考生试卷，将由各地选派的评分专家对其作答情况进行阅卷评分。对专业知识考试和专业案例考试读卡成绩未达到调档分数线的考生试卷，不进行专家阅卷评分。

4. 专家阅卷评分

为保证考试评分的客观、公正，杜绝各类作弊行为，全国勘察设计注册工程师电气专业管理委员会组织评分专家依据各考试专家组制定的评分标准及试题标准答案对案例试卷上有效答题的主要分析或计算过程及结果进行评分，对不满足试卷评分标准及试题标准答案者，在试卷上没写明试题答案或无主要分析计算过程及结果的试题，判为无效试题，不计分。

5. 选择作答的 25 道必答题，如考生在答题卡和试卷上作答超过 25 道，按题目序号从小到大的顺序对作答的前 25 道题评分，其它作答题无效。

三、案例题答卷要求

满足下列三方面要求才能得分：

1. 依据正确

有效版本的规程规范和设计手册章节、条款；

2. 过程完整

计算公式、计算过程正确；分析过程、依据论述正确；

3. 结论正确，填写符合要求。

4. 常见的问题

1) 只填涂答题卡不在试卷上作答；

2) 答案未按要求填写在 [] 内或未用作答笔填写（如顺便用填涂用的 2B 铅笔）；

3) 大题依据不准确；

4) 无解答过程或解答过程不完整；

5) 用铅笔答卷或用圆珠笔答卷。

附录 B 报考条件与基础免考条件

一、报考条件

1. 参加注册电气工程师基础考试，应具备下列条件之一：

- (1) 取得本专业或相近专业大学本科及以上学历或学位。
- (2) 取得本专业或相近专业大学专科学历，累计从事电气专业工程设计工作满 1 年。
- (3) 取得其他工科专业大学本科及以上学历或学位，累计从事电气专业工程设计工作满 1 年。

2. 参加注册电气工程师专业考试，应基础考试合格或符合免基础考试条件，并具备下列条件之一：

(1) 取得本专业博士学位后，累计从事电气专业工程设计工作满 2 年；或取得相近专业博士学位后，累计从事电气专业工程设计工作满 3 年。

(2) 取得本专业硕士学位后，累计从事电气专业工程设计工作满 3 年；或取得相近专业硕士学位后，累计从事电气专业工程设计工作满 4 年。

(3) 取得含本专业在内的双学士学位或本专业研究生班毕业后，累计从事电气专业工程设计工作满 4 年；或取得相近专业双学士学位或研究生班毕业后，累计从事电气专业工程设计工作满 5 年。

(4) 取得通过本专业教育评估的大学本科学历或学位后，累计从事电气专业工程设计工作满 4 年；或取得未通过本专业教育评估的大学本科学历或学位后，累计从事电气专业工程设计工作满 5 年；或取得相近专业大学本科学历或学位后，累计从事电气专业工程设计工作满 6 年。

(5) 取得本专业大学专科学历后，累计从事电气专业工程设计工作满 6 年；或取得相近专业大学专科学历后，累计从事电气专业工程设计工作满 7 年。

(6) 取得其他工科专业大学本科及以上学历或学位后，累计从事电气专业工程设计工作满 8 年。

3. 本专业、相近专业和其他专业

(1) 本专业：电气工程及其自动化。

(2) 相近专业：①自动化；②电子信息工程；③通信工程；④计算机科学与技术。

(3) 其他专业：除本专业和相近专业外的工科专业。

二、基础免考条件

截止到 2002 年 12 月 31 日前，全国勘察设计注册电气工程师（发输变电、供配电）、公用设备工程师（暖通空调、给水排水、动力）、化工工程师、土木工程师（港口与航道工程、水利水电工程）、环保工程师符合下列条件之一者，可免基础考试，只需参加专业考试：

1. 取得本专业博士学位后，累计从事本专业工程设计工作满 5 年；或取得相近专业博士学位后，累计从事本专业工程设计工作满 6 年。

2. 取得本专业硕士学位后，累计从事本专业工程设计工作满 6 年；或取得相近专业硕

士学位后, 累计从事本专业工程设计工作满 7 年。

3. 取得含本专业在内的双学士学位或本专业研究生班毕业后, 累计从事本专业工程设计工作满 7 年; 或取得相近专业双学士学位或研究生班毕业后, 累计从事本专业工程设计工作满 8 年。

4. 取得本专业大学本科学历或学位后, 累计从事本专业工程设计工作满 8 年; 或取得相近专业大学本科学历或学位后, 累计从事本专业工程设计工作满 9 年。

5. 取得本专业大学专科学历后, 累计从事本专业工程设计工作满 9 年; 或取得相近专业大学专科学历后, 累计从事本专业工程设计工作满 10 年。

6. 取得其他工科专业大学本科及以上学历或学位后, 累计从事本专业工程设计工作满 12 年。

7. 取得其他工科专业大学专科学历后, 累计从事本专业工程设计工作满 15 年。

8. 取得本专业中专学历后, 累计从事本专业工程设计工作满 25 年; 或取得相近专业中专学历后, 累计从事本专业工程设计工作满 30 年。

附录 C 规程规范重要性标识

对于考试大纲所列的规程规范, 考试时也存在重点。以 2013 年考试大纲要求为依据 (由于 2014 年小部分规程规范可能会有变动, 考生须以 2014 年考试大纲为最终依据), 按规程规范的重要性程度对需要掌握的 75 本规范规程进行分级评定。其中 5 星级的 16 个, 需要熟练掌握全部条款 (有的规范因涉及到其他专业, 对这部分内容可以少看), 包括条文说明, 并能够灵活应用。4 星级的 19 个, 要求熟练掌握并灵活应用。3 星级的 23 个, 3 星级的也很重要, 需要熟读并大概记住主要内容, 对涉及电气的部分尤其需要加以注意。2 星、1 星的规程规范很少出题, 但至少应该知道考试大纲里有这个规程规范, 并了解这个规范主要内容。这样答题时才能做到有的放矢, 做到能对看到题目快速定位到相应的位置。

★★★★★

- [1] 中华人民共和国工程建设标准强制性条文 电力工程部分 (2011 年版) [S]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [2] GB/T 50062—2008 电力装置的继电保护和自动装置设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [3] GB 50217—2007 电力工程电缆设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2007.
- [4] GB 50227—2008 并联电容器装置设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [5] GB 50229—2006 火力发电厂与变电站设计防火规范 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [6] GB 14285—2006 继电保护和安全自动装置技术规程 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [7] GB 50660—2011 大中型火力发电厂设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [8] DL/T 5153—2002 火力发电厂厂用电设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [9] DL/T 5044—2004 电力工程直流系统设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [10] DL/T 5218—2012 220kV ~ 500kV 变电站设计技术规程 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [11] DL/T 5352—2006 高压配电装置设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [12] DL/T 5222—2005 导体和电器选择设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [13] DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [14] GB/T 50065—2011 交流电气装置的接地设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.

[15] GB 50545—2010 110kV~750kV 架空输电线路设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.

[16] DL/T 5429—2009 电力系统设计技术规程 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

★★★★

[1] GB 50016—2006 建筑设计防火规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2006.

[2] GB 50058—1992 爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1992.

[3] GB 50116—1998 火灾自动报警系统设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1998.

[4] GB/T 156—2007 标准电压 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

[5] GB/T 16434—1996 高压架空线路和发电厂、变电所环境污区分级及外绝缘选择标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.

[6] GB/T 17468—2008 电力变压器选用导则 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[7] GB/T 12325—2008 电能质量 供电电压偏差 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[8] GB/T 14549—1993 电能质量 公用电网谐波 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.

[9] DL/T 5155—2002 220kV~500kV 变电所所用设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2002.

[10] DL/T 5242—2010 35kV~220kV 变电站无功补偿装置设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.

[11] DL/T 5136—2012 火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.

[12] DL/T 5202—2004 电能量计量系统设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[13] DL 5033—2006 输电线路对电信线路危险和干扰影响防护设计规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

[14] SD 325—1989 电力系统电压和无功电力技术导则 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1989.

[15] GB/T 50063—2008 电力装置的电测量仪表装置设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.

[16] DL/T 5014—2010 330kV~750kV 变电站无功补偿装置设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.

[17] DL/T 691—1999 高压架空送电线无线电干扰计算方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.

[18] DL/T 5003—2005 电力系统调度自动化设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

[19] DL/T 5390—2007 火力发电厂和变电站照明设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

★★★

[1] GB 50052—2009 供配电系统设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.

[2] GB 50059—2011 35kV~110kV 变电站设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.

[3] GB 50060—2008 3kV~110kV 高压配电装置设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.

[4] GB 50260—1996 电力设施抗震设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1996.

[5] GB 311.1—2012 绝缘配合 第1部分: 定义、原则和规则 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.

[6] GB 15707—1995 高压交流架空送电线 无线电干扰限值 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.

[7] GB 6830—1986 电信线路遭受强电线危险影响的容许值 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1986.

[8] GB/T 12326—2008 电能质量 电压波动和闪变 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[9] GB/T 15543—2008 电能质量 三相电压不平衡 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[10] DL/T 5186—2004 水力发电厂机电设计规范 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[11] DL/T 5164—2002 水力发电厂厂用电设计规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2002.

[12] NB/T 35008—2013 水力发电厂照明设计规范 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.

[13] DL 5027—1993 电力设备典型消防规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1993.

[14] SL 311—2004 水利水电工程高压配电装置设计规范 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

[15] DL/T 5103—2012 35kV~110kV 无人值班变电站设计规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

- [16] DL/T 5149—2001 220kV ~ 500kV 变电所计算机监控系统设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [17] DL/T 5090—1999 水力发电厂过电压保护和绝缘配合设计技术导则 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [18] DL/T 5091—1999 水力发电厂接地设计技术导则 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [19] DL/T 5217—2005 220kV ~ 500kV 紧凑型架空送电线路设计技术规定 [S]. 北京: 中国计划出版社,
- [20] DL/T 5002—2005 地区电网调度自动化设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [21] DL/T 5147—2001 电力系统安全自动装置设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [22] DL/T 723—2000 电力系统安全稳定控制技术导则 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [23] DL/T 755—2001 电力系统安全稳定导则 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2001.

★★

- [1] GB 50054—2011 低压配电设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [2] GB 1094. 1—1996 电力变压器 第1部分 总则 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [3] GB/T 6451—2008 油浸式电力变压器技术参数和要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [4] DL 5061—1996 水利水电工程劳动安全与工业卫生设计规范 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [5] DL 5454—2012 火力发电厂职业卫生设计规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [6] DL/T 5056—2007 变电站总布置设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [7] DL/T 5216—2005 35kV ~ 220kV 城市地下变电站设计规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [8] GB/T 7064—2008 隐极同步发电机技术要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [9] DL/T 436—2005 高压直流架空送电线路技术导则 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

★

- [1] GB 50049—2011 小型火力发电厂设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [2] GB/T 7409. 1 ~ 7409. 2—2008 同步电机励磁系统 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [3] GB 1094. 2—1996 电力变压器 第2部分 温升 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [4] DL/T 583—2006 大中型水轮发电机静止整流励磁系统及装置技术条件 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [5] DL/T 843—2010 大型汽轮发电机自并励静止励磁系统技术条件 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [6] DL/T 5224—2005 高压直流输电大地返回运行系统设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [7] DL/T 832—2003 光纤复合架空地线 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [8] SL 321—2005 大中型水轮发电机基本技术条件 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.

参考文献^①

- [1] GB 50016—2006 建筑设计防火规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2006.
- [2] GB 50049—2011 小型火力发电厂设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [3] GB 50052—2009 供配电系统设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.
- [4] GB 50054—2011 低压配电设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [5] 中华人民共和国工程建设标准强制性条文 电力工程部分 (2011 年版) [S]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [6] GB 50058—1992 爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1992.
- [7] GB 50059—2011 35kV ~ 110kV 变电站设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [8] GB 50060—2008 3kV ~ 110kV 高压配电装置设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [9] GB/T 50062—2008 电力装置的继电保护和自动装置设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [10] GB/T 156—2007 标准电压 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [11] GB 50116—1998 火灾自动报警系统设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1998.
- [12] GB 50217—2007 电力工程电缆设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2007.
- [13] GB 50227—2008 并联电容器装置设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [14] GB 50229—2006 火力发电厂与变电站设计防火规范 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [15] GB 50260—1996 电力设施抗震设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1996.
- [16] GB 311.1—2012 绝缘配合 第1部分: 定义、原则和规则 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [17] GB/T 16434—1996 高压架空线路和发电厂、变电所环境污秽分级及外绝缘选择标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [18] GB/T 7409.1 ~ 7409.2—2008 同步电机励磁系统 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [19] GB 1094.1—1996 电力变压器 第1部分 总则 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [20] GB 1094.2—1996 电力变压器 第2部分 温升 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [21] GB/T 6451—2008 油浸式电力变压器技术参数和要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [22] GB/T 17468—2008 电力变压器选用导则 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [23] GB 15707—1995 高压交流架空送电线 无线电干扰限值 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [24] GB 6830—1986 电信线路遭受强电路危险影响的容许值 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1986.
- [25] GB/T 12325—2008 电能质量 供电电压偏差 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [26] GB/T 12326—2008 电能质量 电压波动和闪变 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [27] GB/T 14549—1993 电能质量 公用电网谐波 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [28] GB/T 15543—2008 电能质量 三相电压不平衡 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [29] GB 14285—2006 继电保护和安全自动装置技术规程 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [30] GB 50660—2011 大中型火力发电厂设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [31] DL/T 5153—2002 火力发电厂厂用电设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [32] DL/T 5186—2004 水力发电厂机电设计规范 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [33] DL/T 5164—2002 水力发电厂厂用电设计规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [34] DL/T 5044—2004 电力工程直流系统设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [35] DL/T 5390—2007 火力发电厂和变电站照明设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

① 本参考文献列出的是 2013 年考试所要求规程规范和手册, 与 2014 年考试大纲所要求的可能会有出入, 考试时以国家公布的考试大纲要求为准。

- [36] NB/T 35008—2013 水力发电厂照明设计规范 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [37] DL 5061—1996 水利水电工程劳动安全与工业卫生设计规范 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [38] DL 5454—2012 火力发电厂职业卫生设计规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [39] DL/T 5218—2012 220kV ~ 750kV 变电站设计技术规程 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [40] DL/T 5155—2002 220kV ~ 500kV 变电所所用电设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [41] DL/T 5242—2010 35kV ~ 220kV 变电站无功补偿装置设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [42] DL/T 5056—2007 变电站总布置设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [43] DL 5027—1993 电力设备典型消防规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1993.
- [44] DL/T 5352—2006 高压配电装置设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [45] SL 311—2004 水利水电工程高压配电装置设计规范 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [46] DL/T 5222—2005 导体和电器选择设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [47] DL/T 583—2006 大中型水轮发电机静止整流励磁系统及装置技术条件 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [48] DL/T 843—2010 大型汽轮发电机自并励静止励磁系统技术条件 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [49] DL/T 5103—2012 35kV ~ 110kV 无人值班变电站设计规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [50] DL/T 5136—2012 火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [51] DL/T 5149—2001 220kV ~ 500kV 变电所计算机监控系统设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [52] DL/T 5202—2004 电能量计量系统设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [53] DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [54] GB/T 50065—2011 交流电气装置的接地设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [55] DL/T 5224—2005 高压直流输电大地返回运行系统设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [56] DL/T 5090—1999 水力发电厂过电压保护和绝缘配合设计技术导则 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [57] DL/T 5091—1999 水力发电厂接地设计技术导则 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [58] GB 50545—2010 110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [59] DL/T 5217—2005 220kV ~ 500kV 紧凑型架空送电线路设计技术规定 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2005.
- [60] DL/T 436—2005 高压直流架空送电线路技术导则 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [61] DL/T 832—2003 光纤复合架空地线 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [62] DL 5033—2006 输电线路对电信线路危险和干扰影响防护设计规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [63] DL/T 691—1999 高压架空送电线无线电干扰计算方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [64] DL/T 5429—2009 电力系统设计技术规程 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [65] DL/T 5003—2005 电力系统调度自动化设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [66] DL/T 5002—2005 地区电网调度自动化设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [67] DL/T 5147—2001 电力系统安全自动装置设计技术规定 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [68] SD 325—1989 电力系统电压和无功电力技术导则 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1989.

- [69] DL/T 723—2000 电力系统安全稳定控制技术导则 [S]. 北京：中国电力出版社，2000.
- [70] DL/T 755—2001 电力系统安全稳定导则 [S]. 北京：中国电力出版社，2001.
- [71] DL/T 5216—2005 35kV ~ 220kV 城市地下变电站设计规定 [S]. 北京：中国电力出版社，2005.
- [72] GB/T 7064—2008 隐极同步发电机技术要求 [S]. 北京：中国标准出版社，2008.
- [73] SL 321—2005 大中型水轮发电机基本技术条件 [S]. 北京：中国水利水电出版社，2005.
- [74] DL/T 5014-2010 330kV ~ 750kV 变电站无功补偿装置设计技术规定 [S]. 北京：中国电力出版社，2010.
- [75] GB/T 50063—2008 电力装置的电测量仪表装置设计规范 [S]. 北京：中国计划出版社，2008.
- [76] 水利电力部西北电力设计院. 电力工程电气设计手册（电气一次部分）[M]. 北京：中国电力出版社，1989.
- [77] 能源部西北电力设计院. 电力工程电气设计手册（电气二次部分）[M]. 北京：中国电力出版社，1991.
- [78] 国家电力公司东北电力设计院. 电力工程高压送电线路设计手册 [M]. 2 版. 北京：中国电力出版社，2003.
- [79] 电力工业部电力规划设计总院. 电力系统设计手册 [M]. 北京：中国电力出版社，1998.

读者需求调查表

亲爱的读者朋友：

您好！为了提升我们图书出版工作的有效性，为您提供更好的图书产品和服务，我们进行此次关于读者需求的调研活动，恳请您在百忙之中予以协助，留下您宝贵的意见与建议！

个人信息

姓名		出生年月		学历	
联系电话		手机		E-mail	
工作单位				职务	
通讯地址				邮编	

1. 您感兴趣的科技类图书有哪些？

☐自动化技术 ☐电工技术 ☐电力技术 ☐电子技术 ☐仪器仪表 ☐建筑电气

☐其他（ ）以上各大类中您最关心的细分技术（如 PLC）是：（ ）

2. 您关注的图书类型有：

☐技术手册 ☐产品手册 ☐基础入门 ☐产品应用 ☐产品设计 ☐维修维护

☐技能培训 ☐技能技巧 ☐识图读图 ☐技术原理 ☐实操 ☐应用软件

☐其他（ ）

3. 您最喜欢的图书叙述形式：

☐问答型 ☐论述型 ☐实例型 ☐图文对照 ☐图表 ☐其他（ ）

4. 您最喜欢的图书开本：

☐口袋本 ☐32 开 ☐B5 ☐16 开 ☐图册 ☐其他（ ）

5. 图书信息获得渠道：

☐图书征订单 ☐图书目录 ☐书店查询 ☐书店广告 ☐网络书店 ☐专业网站

☐专业杂志 ☐专业报纸 ☐专业会议 ☐朋友介绍 ☐其他（ ）

6. 购书途径：

☐书店 ☐网络 ☐出版社 ☐单位集中采购 ☐其他（ ）

7. 您认为图书的合理价位是（元/册）：

手册（ ） 图册（ ） 技术应用（ ） 技能培训（ ） 基础入门（ ） 其他（ ）

8. 每年购书费用：

☐100 元以下 ☐101 ~ 200 元 ☐201 ~ 300 元 ☐300 元以上

9. 您是否有本专业的写作计划？

☐否 ☐是（具体情况： ）

非常感谢您对我们的支持，如果您还有什么问题欢迎和我们联系沟通！

地址：北京市西城区百万庄大街 22 号 机械工业出版社电工电子分社 邮编：100037

联系人：张俊红 联系电话：13520543780 传真：010-68326336

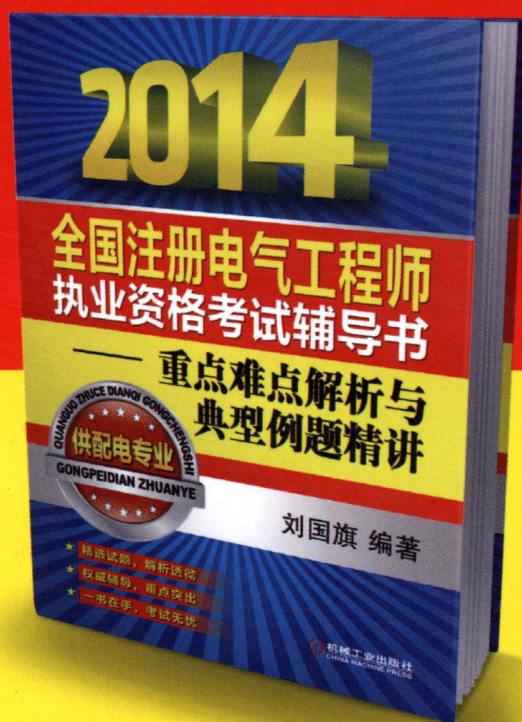
电子邮箱：buptzjh@163.com（可来信索取本表电子版）

编著图书推荐表

姓名		出生年月		职称/职务		专业	
单位				E-mail			
通讯地址						邮政编码	
联系电话			研究方向及教学科目				
个人简历(毕业院校、专业、从事过的以及正在从事的项目、发表过的论文):							
您近期的写作计划有:							
您推荐的国外原版图书有:							
您认为目前市场上最缺乏的图书及类型有:							

地址: 北京市西城区百万庄大街 22 号 机械工业出版社, 电工电子分社
 邮编: 100037 网址: www.cmpbook.com
 联系人: 张俊红 电话: 13520543780 010-68326336 (传真)
 E-mail: buptzjh@163.com (可来信索取本表电子版)

2014



地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网: <http://www.cmpedu.com>

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导 考试

上架指导 工业技术 / 电气工程

ISBN 978-7-111-45900-2

策划编辑◎张俊红 (buptzjh@163.com)

封面设计◎马精明

ISBN 978-7-111-45900-2



9 787111 459002 >

定价: 79.80元